

**Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-graduação em
Engenharia de Produção**

Carlo Cezarini Neto

**MODELO DE COMPENSAÇÃO DE CO₂ PARA EMPRESAS
POLUIDORAS DO AR: UM ESTUDO DE CASO NO VALE DO
ITAPOCU, REGIÃO NORTE DE SANTA CATARINA**

Dissertação de Mestrado

Florianópolis

2002

Carlo Cezarini Neto

**MODELO DE COMPENSAÇÃO DE CO₂ PARA EMPRESAS
POLUIDORAS DO AR: UM ESTUDO DE CASO NO VALE DO
ITAPOCU, REGIÃO NORTE DE SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção da Universidade
Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof^a. Christianne Coelho de Souza Reinisch Coelho, Dra.

Florianópolis

2002

Carlo Cezarini Neto

**MODELO DE COMPENSAÇÃO DE CO₂ PARA EMPRESAS
POLUIDORAS DO AR: UM ESTUDO DE CASO NO VALE DO
ITAPOCU, REGIÃO NORTE DE SANTA CATARINA**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção** no **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção** da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de junho de 2002.

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph. D.
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Christianne Coelho de Souza
Reinisch Coelho, Dra.
Orientadora

Luiz Fernando Guimarães de
Figueiredo, Dr.

Miriam Loureiro Fialho, Dra.

Myriam Eugênia Ramalho Prata
Barbejat, Msc.

Em memória a meu irmão, Leonardo Trevisan
Schleder, que deixa saudades, e que com sua partida me
ensina que a vida foi feita para se viver cada momento
intensamente, que nunca devemos deixar para amanhã o
que pode ser feito hoje e principalmente, que a única
coisa que levamos daqui é o rancor de nunca poder ter
realmente dito: “Adeus meu irmão, fica com Deus”.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Catarina.
À especial atenção e dedicação prestada por minha orientadora, Christianne, a
quem agradeço por seus estimados conselhos.
À minha esposa, a quem coube o trabalho mais difícil de suportar todos
os momentos difíceis e angustiantes na realização deste trabalho.
Aos meus pais, que me proporcionaram a oportunidade
de um dia chegar até aqui.

A todos os que direta ou indiretamente
contribuíram para a realização
desta pesquisa.

Resumo

NETO, Carlo Cezarini. **Modelo de Compensação de CO₂ para Empresas Poluidoras do Ar: Um Estudo de Caso no Vale do Itapocu, Região Norte de Santa Catarina**. 2002. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Esta pesquisa teve o objetivo de desenvolver um modelo de compensação de CO₂, dimensionando o número de árvores necessárias, para que empresas poluidoras do ar possam manter seu equilíbrio econômico financeiro, social e principalmente em conformidade com o meio ambiente, captando, de acordo com este trabalho, o CO₂ despejado na atmosfera resultante do processo de industrialização de seus produtos.

Foram realizadas 5 amostras (8.000 árvores) de cada idade, 3,5 e 4,5 anos, onde foram obtidos seus volumes através de um inventário florestal e extrapolando os demais volumes, por regressão, até a idade de 8 anos.

Os resultados determinaram a capacidade de captação de CO₂ por árvore, para cada idade, e que, junto das propriedades químicas de cada combustível, desenvolveu-se o modelo de captação, o qual indica a quantidade de árvores por ano que cada empresa deverá ter, com certa idade, para manter seu equilíbrio ambiental na cadeia de produção para determinado espaçamento entre plantio.

Palavras chave: Protocolo de Kyoto, captação de CO₂, *Eucalyptus grandis*.

Abstract

NETO, Carlo Cezarini. **Modelo de Compensação de CO₂ para Empresas Poluidoras do Ar: Um Estudo de Caso no Vale do Itapocu, Região Norte de Santa Catarina.** 2002. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

This lecture had the main purpose of developing a model of carbon sequestration, providing the number of trees that is necessary, so that air polluter companies can maintain its financial, social and economic balance and mainly in conformity with the environment, capturing, in agreement with this lecture, the carbon emitted in the atmosphere resulting of the industrialization process of its products.

They were accomplished 5 samples (8.000 trees) of each age, 3,5 and 4,5 years, where they were obtained its volumes through a forest inventory and extrapolating the other volumes, for regression, until the age of 8 years.

The results established the capacity of carbon sequestration for each tree, in each age, and that, with the chemical properties of each fuel, the sequestration model was developed, that shows the amount of trees for year that each company will have to have, with certain age, to maintain its environmental balance in the production chain with certain spacing among plantation.

Key Words: Kyoto Protocol, carbon sequestration, *Eucalyptus grandis*.

Lista de figuras

Figura 1: Foto ilustrativa da formação do efeito estufa.....	p.22
Figura 2: Formação dos gases do efeito estufa na atmosfera.....	p.24
Figura 3: Aumento da concentração de CO ₂ na atmosfera nos últimos 250 anos.....	p.26
Figura 4: Evolução das emissões antropogênicas de CO ₂ de 1750 a 2000.....	p.27
Figura 5: Variação da temperatura média anual da Terra nos últimos 130 anos	p.35
Figura 6: Fotossíntese e respiração em dependência de temperatura.....	p.40
Figura 7: Diagrama do ciclo global do carbono com seus principais reservatórios e fluxos.....	p.43
Figura 8: Local do experimento.....	p.70
Figura 9: Compartimentos de estudo de carbono num sistema florestal.....	p.79
Figura 10: Gráfico de ajuste de volumes por regressão logarítmica.....	p.85

Lista de tabelas

Tabela 1: Teor (%) de gases durante a respiração.....	p.39
Tabela 2: Balanço final da respiração.....	p.39
Tabela 3: Relação das reservas de carbono na Terra.....	p.43
Tabela 4: Locais com suas características propostas à implantação do projeto de captação de CO ₂	p.71
Tabela 5: Dados obtidos por regressão a partir das idades 3,5 e 4,5 anos.....	p.85
Tabela 6: Características do carvão mineral.....	p.92
Tabela 7: Características do gás natural.....	p.93
Tabela 8: Tabela modelo contendo a quantidade média de CO ₂ incorporado por árvore em determinada idade e o número de árvores necessárias na captação de CO ₂ proveniente da utilização de 1 kcal gerada por uma unidade de combustível (B/Vn).....	p.96

Lista de anexos

Anexo A: Protocolo de Kyoto

Anexo B: Princípios e Critérios do FSC (Forest Stewardship Council)

Anexo C: Resolução da SEMA

Anexo D: Regiões Bioclimáticas de SC Para Plantio de Eucalipto

Anexo E: Temperaturas Médias Para as Regiões Bioclimáticas de SC

Anexo F: Divisão Geológica de SC

Anexo G: Mapas das Áreas Amostradas e Resultados dos Inventários

Anexo H: Programa de Inventário Florestal Silvisys

Anexo I: Perguntas Mais Frequentes Referente a Espécie *Eucalyptus spp.*

Anexo J: Fotos de Áreas Reflorestadas com a Espécie *Eucalyptus spp.*

Lista de abreviaturas - siglas

Cal: calorias

CAP: circunferência da árvore à altura do peito (padrão 1,30 m de altura)

CH₄: metano

CO₂: dióxido de carbono

COP-1,2,3: Conferência das Partes 1,2 e 3

DAP: diâmetro da árvore à altura do peito (padrão a 1,30 m de altura)

g: gramas

G77: grupo de países em desenvolvimento

GHGs: greenhouse gases (gases do efeito estufa)

Gt: gigatonelada (bilhão de toneladas)

GtC: = PgC = bilhão de toneladas de carbono

H₂S: ácido sulfídrico

Idade n: idade compreendida nesta pesquisa (1 a 8 anos)

IMPA: Instituto de Pesquisas da Amazônia

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

Kcal: 1000 calorias

m³: metro cúbico (medida de volume)

MDL: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

NO_x: óxidos de nitrogênio

OPEP: Organização dos Países Exportadores de Petróleo

Partes: países integrantes do Protocolo de Kyoto

Pg: pentagrama (bilhão de toneladas)

PgC: = GtC = bilhão de toneladas de carbono

Ppmv: partes por milhão de volume

SO_x: óxidos de enxofre

st: stere (medida de volume)

t/ha: toneladas por unidade de área (hectare)

u.v.: raios ultra violetas

Sumário

Lista de figuras

Lista de tabelas

Lista de anexos

Lista de abreviaturas - siglas

1 INTRODUÇÃO	p.14
1.1 Exposição do Assunto	p.14
1.2 Direção do Estudo	p.17
1.3 Questões de Pesquisa	p.17
1.4 Hipóteses	p.18
1.5 Objetivo Geral	p.19
1.6 Objetivos Específicos	p.19
1.7 Justificativa e Relevância do Estudo	p.19
1.8 Origem do Tema	p.20
1.9 Metodologia	p.20
1.10 Limitações do Trabalho	p.20
2 EFEITO ESTUFA	p.22
2.1 Atmosfera	p.24
2.2 Poluição Atmosférica	p.27
2.2.1 Chuvas ácidas	p.31
2.2.2 Perda da camada de ozônio	p.31
2.2.3 Inversão térmica	p.32
2.3 Clima e Tempo	p.33
2.4 Os Efeitos da Floresta sobre a Composição do Ar	p.35
2.4.1 Ciclo do carbono	p.36
2.4.2 Ciclo do oxigênio	p.38
2.4.3 Influência da luminosidade sobre o crescimento	p.40
2.4.4 O ₂ e CO ₂ no povoamento florestal	p.41
2.5 Mudança Climática	p.46
3 PROTOCOLO DE KYOTO	p.51
3.1 Mecanismos de Flexibilidade	p.53
3.1.1 Implementação conjunta	p.55
3.1.2 Mecanismo de desenvolvimento limpo	p.55
3.1.3 Características do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)	p.57
3.2 Custos de Implementação do Protocolo	p.58
3.3 Forest Stewardship Council - FSC (Conselho de Manejo Florestal)	p.59
4 CARACTERÍSTICAS DO GÊNERO E ESPÉCIE FLORESTAL	p.61
4.1 Eucalipto	p.62
4.1.1 Clima	p.65
4.1.2 Solo	p.65

4.1.3 Plantio definitivo.....	p.67
4.2 Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden.....	p.68
4.3 Área de Estudo.....	p.70
4.3.1 Vale do Itapocu.....	p.71
4.3.2 Características edáficas da região.....	p.72
5 EXPERIMENTOS REALIZADOS.....	p.74
5.1 Inventário Florestal.....	p.75
5.1.1 Metodologia de aplicação.....	p.76
5.1.2 Materiais utilizados no inventário.....	p.77
5.2 Quantificação de Absorção de CO₂.....	p.78
5.2.1 Cálculo do estoque de CO ₂ fixado por área.....	p.78
5.2.2 Medidas da biomassa viva.....	p.80
5.2.3 Fórmulas utilizadas.....	p.82
5.3 Resultados dos Experimentos.....	p.84
6 MODELO PROPOSTO.....	p.91
6.1 Carvão Mineral.....	p.92
6.2 Gás Natural (origem Bolívia).....	p.93
7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	p.97
7.1 Respostas às Perguntas Iniciais	p.98
BIBLIOGRAFIA.....	p.100

1 INTRODUÇÃO

1.1 Exposição do Assunto

Num meio em que o crescimento econômico se sujeita a uma série de limitações, é necessário saber como utilizar os elementos que constituem o meio ambiente sem lhe causar dano. A resposta é difícil. Há um grande número de variáveis, tornando a questão complexa.

Seria uma falsa escolha a de optar entre utilizar ou preservar os recursos naturais. A utilização é tão essencial a todas as formas de vida do planeta quanto a preservação. Deve-se, pois, buscar um modelo de desenvolvimento que se adapte com a preservação da fauna, da flora, do solo, de todos os elementos da biosfera. Deve-se partir do princípio de que é impossível a vida sem o uso constante da natureza. O processo de transformação de matérias-primas em outros produtos é inevitável e absolutamente necessário à vida.

Somente a partir da primeira crise do petróleo, em 1973, é que as economias industrializadas passaram a sentir a sua vulnerabilidade, e as produtoras de matérias-primas a ter uma maior consciência de sua importância.

De qualquer modo, o processo de industrialização continua e o que o avanço tecnológico tem promovido é a redução do desperdício, propiciando um melhor aproveitamento dos insumos, até mesmo eliminando o uso de algumas matérias-primas mais escassas ou poluidoras, que vão sendo substituídas por outras de melhor rendimento.

Mesmo considerando o atual nível de desenvolvimento tecnológico, a humanidade depende inteiramente de uma fonte de matéria prima cujo prazo de exaustão é eminente.

Precisamos das árvores que produzem, além de sombra e alimentos, celulose, móveis e habitação. Como conviver com as florestas, ao mesmo tempo utilizando-as e permitindo que sejam usadas no futuro? Se a utilização de hoje for predatória, é evidente que as gerações futuras vão sentir a sua falta. É razoável esperar que a exploração dos recursos naturais renováveis deva ser feita de tal modo que as próximas gerações também possam deles tirar o mesmo proveito que as gerações atuais ou passadas. Segundo Dr. Burger (1980, p.11): “A extração de recursos

renováveis nada mais é do que um desvio de produtos de ecossistemas antes de eles serem reduzidos naturalmente”.

Obviamente a maior chance de manter o sistema de produção e consumo humano, está na exploração racional dos recursos renováveis. Porém deve-se sempre levar em consideração que a capacidade de recuperação dos ecossistemas é limitada. Um desvio exagerado de produtos do ecossistema conduz o mesmo ao colapso, fato que está ocorrendo em grande escala na exploração exagerada das florestas e mares.

Somente se o homem aprender a manejar os ecossistemas de forma racional, isto é, dosar o desvio de produtos dos ecossistemas de tal maneira que possam de recuperar, é que os recursos renováveis não se esgotarão.

Desse princípio surge o conceito de desenvolvimento sustentável: “O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades” (<www.creativenet.com.br/juglans>. Juglans Engenharia Florestal. Acesso em: 22 mai. 2002). A falta de sustentabilidade pode levar a sucessos imediatos, mas fatalmente comprometerá o futuro. Qualquer país que provoque a exaustão de seus recursos naturais em nome da riqueza a curto prazo, causará dano à sua população. Se o recurso for fundamental e não repostado, quer pela impossibilidade física, quer pela falta de meios financeiros, é possível que a pobreza se instale em regiões outrora prósperas de forma irremediável.

Quando o próprio processo de industrialização resulta em impacto ambiental, como a contaminação do ar, mas ao mesmo tempo promove o desenvolvimento, a tendência é ignorar que o custo ambiental onerará a população por longos períodos. Um dia, a recuperação ambiental exigirá imensos gastos que passarão a onerar a população, que poderia ter aqueles recursos destinados a investimentos em outras áreas de maior retorno social ou econômico. O custo ambiental será sempre cobrado à população, seja sob a forma de perda de qualidade de vida, seja pelo aumento de gastos públicos ou privados.

Esses custos só se eliminam, ou se minimizam, se os planos e programas de ação contiverem a idéia de desenvolvimento sustentável. Para se ter uma melhor idéia do que significa o uso exaustivo da natureza, pode-se lembrar que a cada ano são destruídos 20 milhões de hectares de florestas e perdidos 25 bilhões de

toneladas de húmus, por causa da erosão, desertificação, salinização ou qualquer outro processo de uso degradante do solo (SOUTO, 1985).

Um aspecto a observar é que o desenvolvimento sem sustentabilidade ainda é comum em países onde a questão ambiental não adquiriu a prioridade necessária. As principais razões disto são a pobreza e a falta de conhecimentos que compatibilizem o uso e a preservação dos recursos naturais, ou seja, a falta de informação e de educação ambiental. O conhecimento de técnicas preservacionistas deve ser transmitido à população. A falta desses cuidados acaba por acarretar mais danos aos países pobres que aos ricos, visto que os últimos detêm conhecimentos tecnológicos cuja aplicação favorece à preservação do meio ambiente.

A transferência desses conhecimentos é de fundamental importância. Os países mais ricos devem promover a difusão dos conhecimentos e das técnicas que propiciam o bom uso do meio ambiente. Afinal, o planeta é o mesmo, seja ele habitado por pobres ou ricos, desenvolvidos ou atrasados. Não cabem atitudes egoístas nessa questão. A globalização dos problemas ambientais exige soluções também globais. Não podemos nos esquecer de que uma floresta destruída em um ponto remoto da Terra, de algum modo, afetará outros pontos, mesmo distantes da origem do problema.

A própria extração da madeira pode e deve causar impacto ambiental de forma equilibrada e positiva, desde que se observe seu ciclo natural. Uma floresta não é somente um conjunto de madeira, é um ecossistema mais complexo e bastante complicado, composto de componentes abióticos como água, gases e minerais, e são capazes de transformar substâncias anorgânicas (água + absorção de gás carbônico + nutrientes) em substâncias vegetais. Essa transformação funciona somente se houver entrada de energia no sistema.

Está evidente, a nível mundial, a mudança do uso do solo aliado ao desmatamento, de 1850 até os dias de hoje. Isto gerou um fluxo estimado de 120 bilhões de toneladas de carbono da biosfera para a atmosfera. Isto porque os ecossistemas florestais possuem uma biomassa maior do que a média dos ecossistemas de agricultura. Daí a necessidade de um grande programa de reflorestamento, junto com a diminuição ou total paralização dos desmatamentos.

Para isso, é necessário que seja dada total atenção às áreas que antes eram cobertas florestais e que, atualmente, são áreas degradadas como consequência

de uma fracassada implantação de atividades agrícolas sustentáveis, plantando florestas econômicas e recuperando os ecossistemas naturais.

Com a globalização a questão ambiental deixou de ser de importância secundária passando a ser uma exigência mundial. As empresas, principalmente a nível internacional, estão dispostas a pagar estes investimentos de forma agregada ao produto final, o que determina a extrema importância de um incentivo rápido dos órgãos governamentais e empresariais, economicamente viável, ecologicamente correto e socialmente justo.

A necessidade de adaptação a esse novo mercado, de uma nova conduta nas questões ambientais, uma busca por alternativas de se tornar auto-suficiente em matéria-prima e, redução de custo de produção, fazem com que as empresas revejam suas políticas e metas para seu crescimento ou simples permanência no mercado.

1.2 Direção do Estudo

O estudo foi direcionado para a área ambiental, onde desejou-se separar três tipos de reservatórios de carbono: o primeiro, os reservatórios formados por Áreas de Preservação Permanente, ou seja, matas ciliares, nascentes, topo de morro e inclinações de terrenos superiores a 45°; o segundo, de Reservas Legais das propriedades da região, conforme a Legislação Ambiental; e o terceiro, o qual foi focado, um reservatório dinâmico de carbono formado exclusivamente por florestas plantadas para fins ambientais e econômicos.

1.3 Questões de Pesquisa

Perante as novas exigências do mercado, principalmente mercado externo, a falta de conscientização, ausência de políticas básicas e eficientes para assegurar uma redução da quantidade de gases poluidores emitidos na atmosfera e atraso tecnológico na contenção de emissão de gases, estão fazendo com que as próprias empresas passem a buscar uma alternativa de diferenciar seu produto da

concorrência. Essa diferença está sendo buscada, também, na área ambiental, onde as empresas passam a agregar valor ao seu produto, por serem empresas agora voltadas à preservação do meio ambiente, obtidas através de certificações dadas por órgãos ambientais e governamentais, como o CER (Certificado de Emissões Reduzidas), alegando que a empresa, sem agredir o meio ambiente e agindo de maneira legal e ecologicamente correta, capta o seu CO₂ despejado na atmosfera, mantendo o equilíbrio entre o que é emitido e o que é compensado, tornando-se uma empresa diferenciada e mais valiosa para o atual mercado, contribuindo para o sucesso de seu negócio.

A proposta é conseguir esse equilíbrio através de culturas de *Eucalyptus grandis*, na qual a empresa pode ter um plantio que servirá inicialmente, e mais importante, para captar o CO₂ despejado na atmosfera, e ao mesmo tempo reduzir seu custo através da própria cultura no quesito energia (lenha), conseguindo, talvez, através de um manejo adequado, se tornar ecologicamente correta e ainda auto-suficiente na produção de energia.

1) Como determinar o tamanho de área de plantio necessária para manter o equilíbrio entre emissão e captação de CO₂ de uma empresa?

2) Como implantar essa cultura de eucalipto, na região do Vale do Itapocu, sem incorrer em problemas legais e ambientais?

3) Como dimensionar a absorção de CO₂ x desenvolvimento do eucalipto?

Outras considerações sobre a espécie utilizada estão no item 7.1, p. 98.

1.4 Hipóteses

- A partir do levantamento de campo, utilizando metodologia de inventário florestal, é possível quantificar a captação de CO₂ por uma árvore da espécie *Eucalyptus grandis*;
- As variáveis de levantamento de campo como espaçamento, idade, altura e diâmetro, são suficientes para determinar o volume de CO₂ captado por uma árvore.

1.5 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo técnico para empresas poluidoras do ar, no Vale do Itapocu, Região Norte do Estado de Santa Catarina, quantificarem o número de árvores necessárias para fazer a compensação do CO₂ liberado pelo consumo do combustível utilizado no seu processo produtivo.

1.6 Objetivos Específicos

- Fazer revisão bibliográfica do assunto a ser pesquisado;
- Realizar um levantamento de campo sobre o desenvolvimento da espécie *Eucalyptus grandis*, na região do Vale do Itapocu;
- Identificar um programa para cálculo do levantamento volumétrico para a espécie em questão.

1.7 Justificativa e Relevância do Estudo

- A necessidade de adaptação a um novo mercado (preocupado com a preservação ambiental);
- A busca pela redução de custo através da auto-suficiência em energia;
- A oportunidade de concluir grandes negócios com credibilidade internacional;
- A recuperação de áreas degradadas com aumento de florestas;
- Alternativa de fonte de renda a pequenos agricultores sem comprometer o meio ambiente;
- Maior agilidade no processo de reverter os problemas causados pelo aumento da concentração do gás CO₂ à atmosfera e;
- Formação de uma cultura mais voltada à preservação do meio ambiente.

Tudo isto consistirá na capacidade de que estes projetos possuem de diminuir os teores de gás carbônico da atmosfera, e de gerarem maior atratividade quanto maior for a capacidade de fixação e o balanço do estoque final, além de manter a preservação da biodiversidade, equilibrando os interesses globais, empresariais e

sociais no controle ao efeito estufa, garantindo o crescimento da empresa ou simples permanência no mercado e uma boa qualidade de vida às gerações futuras.

1.8 Origem do Tema

O tema teve sua origem após leitura sobre a III Conferência das Partes da Convenção, realizada em dezembro de 1997, em Kyoto, Japão, onde foi adotado um Protocolo à Convenção sobre Mudança do Clima, denominado de Protocolo de Kyoto, que estabelecia um compromisso de redução de emissão de gases de efeito estufa mínima de 5 % dos dados de 1990, para os anos 2008 a 2012 aos países incluídos neste Protocolo (lista dos países integrantes no Anexo A).

1.9 Metodologia

1ª Etapa: Pesquisa exploratória com o objetivo de revisão bibliográfica de estudos já realizados na área;

2ª Etapa: Pesquisa de campo com:

- Realização de inventário florestal em duas áreas de reflorestamento na região do Vale do Itapocu;
- Dimensionamento da quantidade de CO₂ fixado por *Eucalyptus grandis* no variar de seu crescimento;
- Levantamento das propriedades químicas dos combustíveis utilizados pelas empresas poluidoras;
- Criação do modelo de captação de CO₂.

1.10 Limitações do Trabalho

Tendo em vista o tempo de realização do curso de mestrado, o tempo necessário para um levantamento volumétrico das parcelas estudadas num trabalho deste porte, levantamento volumétrico de florestas com outros espaçamentos e

idades, o custo para se obter dados referentes a densidade da madeira, índices de volume de copa e raíz, e tudo isto para cada idade, foi avaliado apenas um espaçamento de plantio, 2,5 m x 2,5 m (1.600 árvores/ha), com idades de 3,5 e 4,5 anos, com 5 amostras ao acaso para cada idade, em duas áreas de reflorestamento próximas, sendo portanto, extrapolado por regressão o resultado para as demais idades até o oitavo ano.

2 EFEITO ESTUFA

As condições existentes na Terra são adequadas à vida. A Terra é mantida aquecida pelo calor do Sol, que chega principalmente na forma de luz visível, e a atmosfera controla a temperatura da Terra. Esse relacionamento entre a Terra e a atmosfera é chamado de Efeito Estufa. Entretanto, isto agora está sendo ameaçado. A atmosfera está sendo poluída por gases que retêm mais calor da Terra. Isto poderá provocar a elevação das temperaturas (aquecimento global). A camada de gases que envolve a terra é chamada de atmosfera. A energia do Sol passa através da atmosfera e aquece a Terra. A superfície da Terra libera então calor, parte da qual é absorvida pelos gases na atmosfera. Esses gases impedem que parte do calor escape para o espaço. Isto funciona de maneira muito parecida com a do vidro de uma estufa e, por esse motivo é chamado de Efeito Estufa.

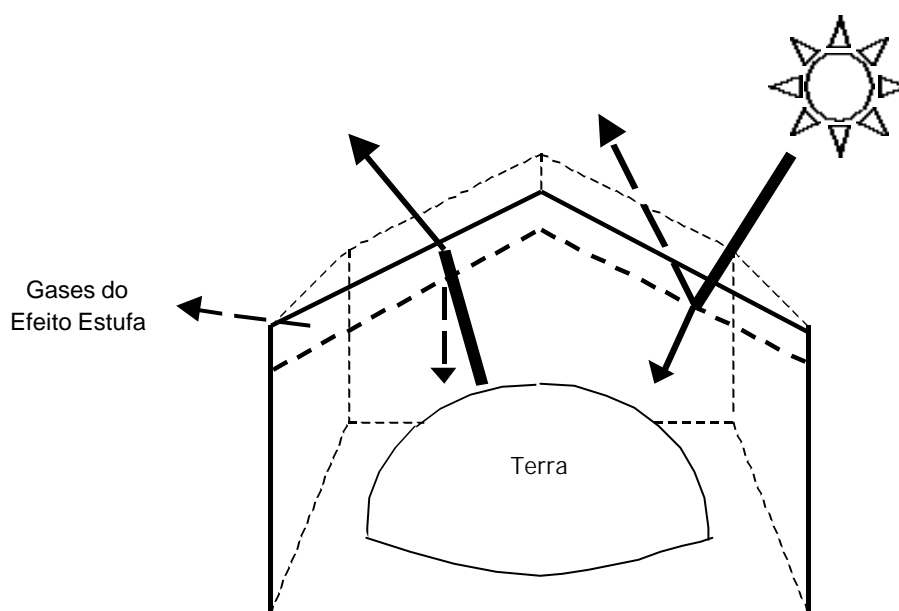


Figura 1: Foto ilustrativa da formação do efeito estufa.

O efeito é ocasionado pelo acúmulo de CO_2 (Dióxido de Carbono), o mais importante e responsável por mais da metade deste efeito, vapor de água, Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O), Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs) e Hexafluoreto de enxofre (SF_6) na atmosfera, resultante do uso de combustíveis fósseis (petróleo, etc.), e que em maior ou menor grau, são capazes de absorver

radiações de ondas longas emitidas pela superfície terrestre e pela atmosfera, aquecendo-a além do normal. É importante lembrar que a Terra seria bem mais fria sem a existência do efeito estufa. Certamente não haveria condições de vida na Terra sem ele. As florestas, solos, rochas e oceanos são receptores naturais de CO_2 , mas que por qualquer interferência exercida sobre qualquer um destes meios, vêm alterar o ciclo natural do carbono, principalmente as florestas (falta de um manejo adequado e até mesmo a utilização irracional destes recursos naturais renováveis), principais responsáveis pelo equilíbrio de CO_2 na atmosfera, quando retiradas e não repostas, liberam gás carbônico e, não havendo mais árvores para realizar a fixação deste gás liberado, faz com que se acumule na atmosfera, fazendo com que a radiação infravermelha refletida pela Terra ocasione o aquecimento das camadas de sua superfície, ocasionando alterações climáticas como chuvas mais fortes e freqüentes em alguns lugares, secas drásticas e desertificação em outros, mais incidências de furacões, inundações, invernos menos rigorosos e verões mais quentes.

É evidente, então, a necessidade da existência do efeito estufa. O prejudicial é que continue aumentando sua concentração.

Todo o processo da industrialização, a urbanização crescente, a exploração irracional dos recursos disponíveis, o aumento por demanda de energia estão sobrecarregando o meio ambiente, que reage de maneira desordenada e imprevisível, mas que nos conduz a um único caminho e provavelmente sem retorno. O resultado desta modificação no meio ambiente é o que se está descobrindo cada vez mais, e com certeza encontramos o ponto de seu limite natural, pois o resultado de tudo isto são os diversos problemas ambientais que temos nos defrontado tais como: alteração na qualidade do ar, aumento da desertificação, poluição dos mares e rios, enchentes, incêndios mais freqüentes, diminuição da camada de ozônio e aumento da camada de CO_2 , chuvas ácidas, desmatamentos, inversão térmica, etc.

2.1 Atmosfera

Segundo Silva (1995, p.77-83):

Ar é o termo que se emprega aqui nos sentidos conexos de mistura gasosa que envolve a Terra, de ventos, de brisa e aragem, e de espaço acima do solo. Aí a atmosfera, constituída com seus cerca de 78 % de argônio, dióxido de carbono, vapor de água e outros minerais nobres, que nela, a partir da Terra e da massa líquida, circulam, formando os ciclos da biosfera, que mantêm a vida na sua superfície. Essa capa de ar que envolve a Terra, além de ser a matéria prima da respiração dos seres vivos (animais e vegetais), filtra os raios solares, arrefece o calor, equilibra os ecossistemas. Se faltar, a vida se extinguirá. Se sua pureza for gravemente comprometida, sua função ecológica perecerá.

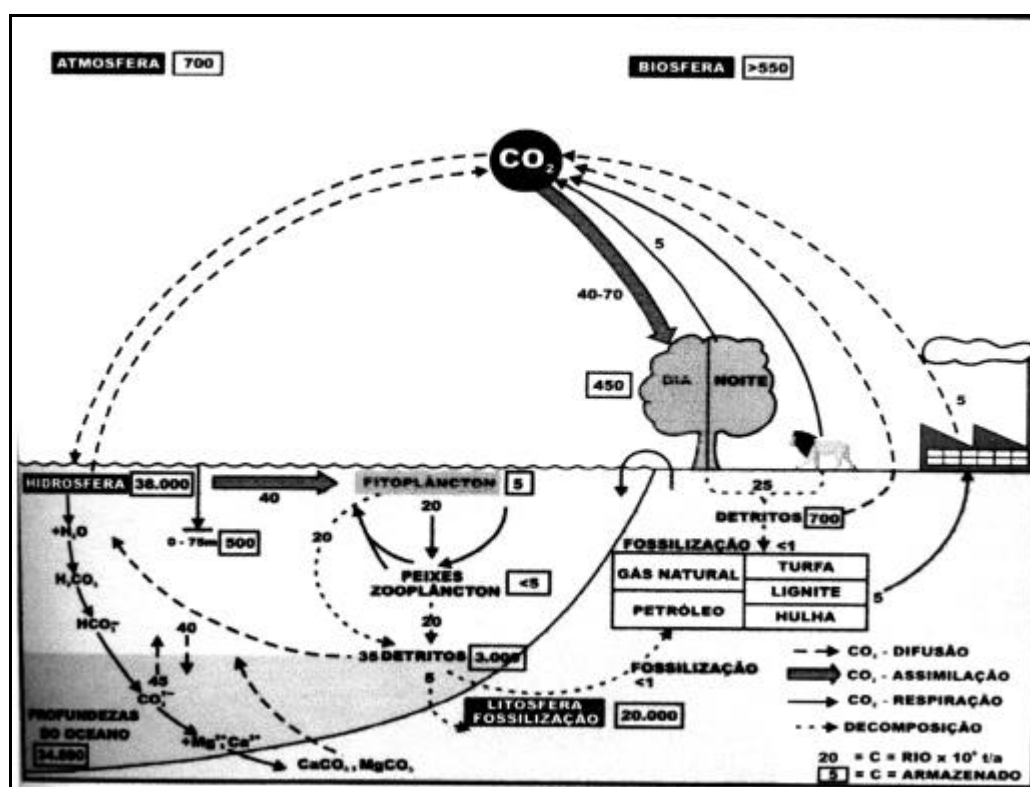


Figura 2: Formação dos gases do efeito estufa na atmosfera.

Fonte: HEINRICH; HERGT (1990) citado por SCHUMACKER, Mauro V.; HOPPE, Juarez M.. A Complexidade dos Ecossistemas. Porto Alegre: Pallotti, p.33, 1997.

Os ciclos da biosfera interagem com os seres vivos. A respiração com troca de oxigênio e gás carbônico integra o ciclo desses minerais. Por ser, a respiração, de vital importância, é fácil imaginar como seria ingerir poluição, ar contaminado, degradado, e o que ele seria capaz de fazer com os órgãos responsáveis pela

assimilação de ar limpo e sem contaminação, ou em proporções ainda aceitáveis de contaminação, já que a respiração ainda não pode ser indispensável para a vida na Terra. Nenhum ser vivo pode sobreviver sem a respiração, e pior, sem ar limpo e com certo grau de pureza.

Há um limite de tolerância à contaminação atmosférica, além do qual afetariam a saúde e o bem estar, além de afetar diretamente a flora e a fauna, colocando o meio ambiente em risco e, conseqüentemente, a vida na Terra.

O ar não é propriedade de ninguém por si só, nem de todos. É um direito de todos, uma garantia de sobrevivência, de uso em comum (inclusive plantas e animais em geral), devendo ser obrigatório e indispensável a proteção por parte de cada indivíduo racional. Silva (1995, pg.78) expõe:

O ar é um bem insuscetível de ser incluído no circuito mercantil, para que sobre sua utilização possa impor-se um preço como ocorre com todos os bens sujeitos ao mercado. Essa idéia faz surgir um direito de poluir, desde que pague, o que, em verdade, vale como reeditar um slogan também lançado por economistas: “quem polui paga”, tão falso como seu comentário: “a vítima paga”.

O grande problema e a resposta da questão não está em usar o ar ou não usar, vender ou não vender, pagar ou não pagar. O problema é que o sistema está em desequilíbrio, ou seja, uma das partes da cadeia não está funcionando como deveria. O avanço tecnológico e o aumento da quantidade de poluição andam lado a lado, e antes de se evitar este avanço, deveríamos procurar resolver o outro lado do problema, fazendo com que aqueles que contaminam o ar, paguem sim por isso, mas de uma maneira que obrigue eles (poluidores) a fazerem com que mantenham o equilíbrio, ou seja, poluiu e contaminou o ar, pagará para captar esta poluição, seja comprando ações de empresas reflorestadoras ou plantando, mas encontrando uma maneira de captar exatamente aquilo que poluiu, mantendo o “seu” equilíbrio ambiental. Porque cada um que faça sua parte, poluindo ou não, capte, de qualquer maneira, o mínimo de que precisa para eliminar seu ônus, ajudará a manter o equilíbrio ambiental. Propiciando o equilíbrio desse sistema, favorecerá à harmonia do processo industrial com a preservação da qualidade ambiental, necessitando somente, e tão somente, de estudos precisos sobre quanto cada poluidor necessita captar para manter-se em equilíbrio no aspecto qualidade do ar.

Segundo os Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ (1994, p.41): “A concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera é determinada pelas emissões de CO₂ a partir da queima de combustíveis fósseis e da mudança do uso da terra e absorção de CO₂ pelos oceanos do mundo e também pelos ecossistemas terrestres. Por pelo menos mil anos antes do início do século 19, a concentração atmosférica variava em menos de 10 ppmv (partes por milhão de volume). Desde 1800, a concentração aumentou de 280 ppmv para mais de 350 ppmv. O aumento não foi constante, mas nos últimos tempos tem sido mais acelerado. O aumento anual na década de 80 foi, em média, de 1,6 ppmv/ano”, como podemos analisar na figura 3.

Esses dados foram observados através de amostras retiradas de camadas de gelo antártico, mostrando sua variação, ao longo do tempo, como mostram as figuras 3 e 4.

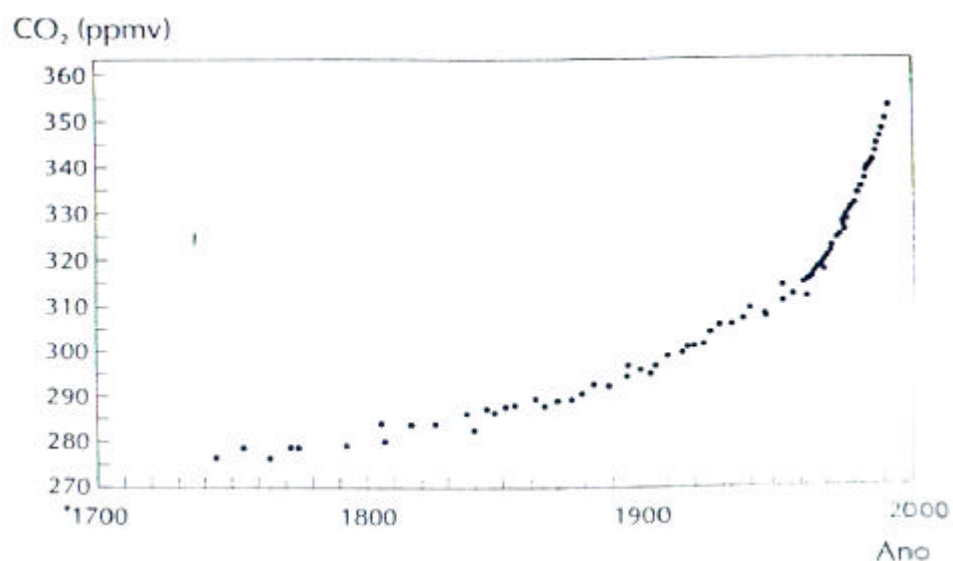


Figura 3: Aumento da concentração de CO₂ na atmosfera nos últimos 250 anos.

Fonte: (Watson et al., 1990, p.83) citado por Companhia Vale do Rio Doce no livro Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil. Rio de Janeiro, 1994.

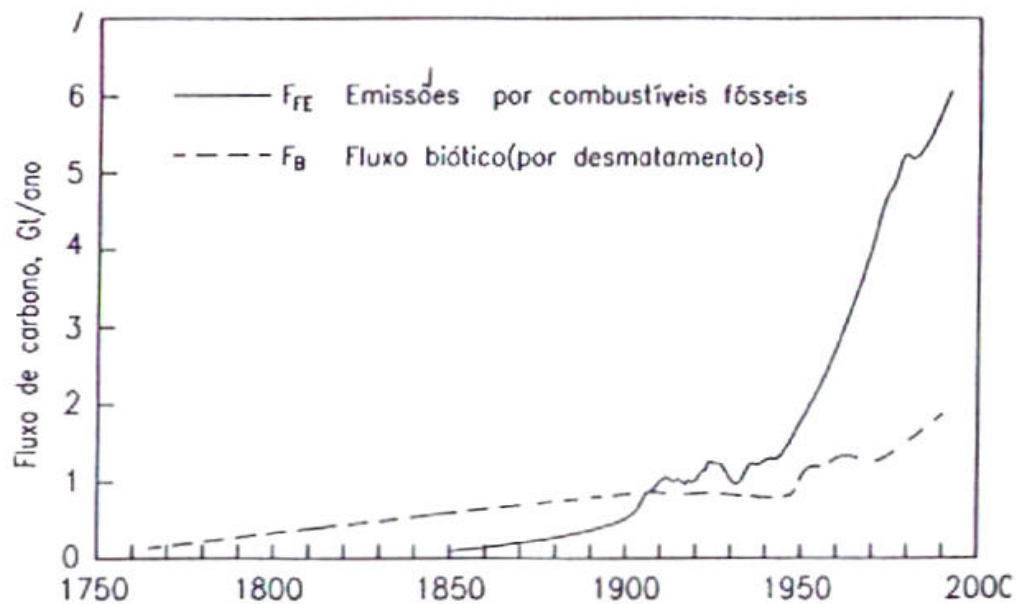


Figura 4: Evolução das emissões antropogênicas de CO₂, desde 1750 a 2000.

Fonte: MOORE e BRASWELL. (1994, p.95) citado por LORA, E. S.. Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transportes: Sindicato Nacional dos Editores de Livros. Rio de Janeiro, 2000.

O presidente da Aracruz Celulose, Carlos Aguiar (*apud* CANÇADO, 2001, p. 35), diz:

Quanto mais rápido o crescimento de uma árvore, maior a absorção de CO₂, e nesse caso o eucalipto brasileiro leva vantagem. Como a floresta sozinha não vai resolver o problema, também será preciso reduzir o uso de carvão, o óleo combustível deverá ser trocado por combustíveis menos poluentes e assim por diante.

Mostrando, assim, ser o eucalipto uma excelente opção como espécie alternativa de captação de CO₂, devido o alto estágio de avanço genético e sua enorme capacidade de desenvolvimento, consequentemente, captação de CO₂.

2.2 Poluição Atmosférica

A atmosfera é composta de numerosos gases, mesmo que em pequenas quantidades. A natureza contribui com a produção natural de alguns gases que

contribuem para a poluição atmosférica (gases em excesso na atmosfera) como o SO_2 (material particulado liberado pelos vulcões), queimadas naturais liberando SO_2 , NO_x , H_2S , CO_2 , decomposição anaeróbia de matéria orgânica gerando (H_2S , CO_2 , CH_4), e a desnitrificação por bactérias liberando (NO_x).

Segundo Oliveira (1995, p.44), entende-se por poluição atmosférica:

A presença de certas substâncias, no ar, que alcançam concentrações suficientemente elevadas sobre seu nível ambiental normal, que pode produzir um efeito nocivo no homem, nos animais, na vegetação e nos objetos. Essas substâncias podem ser qualquer composto químico e elemento natural ou artificial, capaz de permanecer ou ser arrastado pelo ar. Estas substâncias podem existir na atmosfera em forma de gases, gotas líquidas ou partículas sólidas.

A história da poluição é a história dos combustíveis, da industrialização dos países e da própria Civilização Maquinista.

Do mesmo modo poderíamos indagar agora se é possível conseguir cidades humanas se os princípios que regem sua natureza material e portanto técnica, ainda não se encontram definitivamente estabelecidos.

Constata-se, então, que nem todas as cidades nascem, como deveriam, de um planejamento regional, que suas circulações não funcionam, que seus zoneamentos são aliados incondicionais da contaminação da água e da poluição atmosférica, que são desorganizadas, ruidoras e poeirentas e que não existem fixados em seus habitantes nem ao menos os fundamentos de uma educação ecológica.

Desde a grande revolução neolítica o homem tem interferido desordenadamente na natureza em prol do desenvolvimento. A mais visível destas agressões tem seu início no desfloramento que se pode notar inclusive pelos incêndios e queimadas do Período Neolítico (CARVALHO, 1975).

Algumas cidades industriais daquele tempo também haviam comprometido alguns ecossistemas com a extinção sistemática de inúmeros seres vivos.

É este mesmo desfloramento que se mostra na sequência, na Idade Média, durante o apogeu das cidades italianas como Gênova e Veneza e até mesmo na longínqua Bizâncio, para apoio da indústria da construção em geral e dos estaleiros navais em particular que postulavam imensas quantidades de madeira. Só em Veneza, cidade toda construída praticamente sobre estacas, a Ponte do Rialto e a Igreja de la Salute foram construídas sobre mais de um milhão de estacas de madeira de 4 m de comprimento médio.

Se por um lado o desaparecimento progressivo da cobertura florestal européia não atingiu a fundo os animais pequenos, de outro lado os grandes mamíferos tiveram enorme sofrimento pela incompatibilidade de suas exigências ecológicas frente à metamorfose ali processada.

Os chamados combustíveis fósseis (petróleo, gasolina, óleo e carvão) quando queimados, produzem uma seqüência, um conjunto de compostos de carbono, nitrogênio e enxofre cuja precisa composição depende principalmente do grau de oxidação e composição do combustível.

Nas combustões domésticas e industriais os poluentes mais comuns são o dióxido de carbono e os óxidos de enxofre e nitrogênio.

O ciclo da poluição atmosférica é composto de três fases: lançamento dos poluentes pelas fontes de poluição, que poderiam ser disciplinados localizando as indústrias em função da direção dos ventos entre outras coisas, o transporte e difusão dos poluentes na atmosfera e a recepção dos poluentes de volta pelo homem e pelo meio ambiente.

Quanto ao transporte e dispersão muito vão influir nela, o relevo da região, a velocidade e direção dos ventos, os gradientes bóricos, as precipitações pluviométricas, a temperatura, a ocorrência de inversões térmicas e anticiclones, as radiações solares e a radioatividade industrial.

A região do corpo mais atingida pela poluição, no Homem, é o aparelho respiratório, ou melhor dizendo, a superfície alveolar. Entre as pessoas mais atingidas estão os hipersensíveis, os bronquíticos crônicos, os enfisematosos, os cardiopulmonares, os asmáticos e os velhos de mais de 65 anos, sem contar os fumantes, que são os primeiros a sofrerem as consequências.

Quanto ao que acontece ao meio ambiente, os vegetais, estes podem sofrer uma redução de luz de 40 a 50 % durante o ano, diminuindo a fotossíntese e a respiração, causando também a obstrução dos estomas. Há também o acúmulo de partículas de poluição em suas folhas, ocasionando a destruição da clorofila pela retenção de ácidos, podendo, também, ocorrer a acidificação das águas e do solo.

O Brasil possui algumas vantagens de defesa contra a poluição da atmosfera devido: a baixa densidade demográfica do hemisfério sul onde a população é a sexta parte da do hemisfério norte, embora a nossa, em particular, esteja crescendo em grande proporção.

Outra defesa, e de ordem natural, são as barreiras dos Andes e os grandes oceanos. A densidade de população litorânea é outro fator importante, por estarem longe dos países limítrofes.

Em condições normais a temperatura do ar diminui à medida que se sobe na atmosfera. É o chamado “gradiente vertical de temperatura com a altura”. Estes gradientes são determinados por trocas de energia e pelo movimento vertical do ar. Diversos fatores se alinham para isto mas de maneira muito complicada.

A energia provém do desprendimento do calor latente, do resfriamento do ar por radiação e do calor sensível originário do sol.

Resultado da ação do ser humano, a poluição atmosférica verificada dia a dia pela humanidade, tornou-se um importante problema social, discutida com maior frequência, na medida em que se aumentam os índices de poluição e em contrapartida agravam-se os problemas ambientais decorrentes deste aumento, por quase todos os governantes, bem como instituições internacionais governamentais e particulares, na busca por respostas rápidas e que venham afetar da menor maneira possível o desenvolvimento da humanidade. Segundo Silva (1995, p.79):

O desequilíbrio desse processo pode ocorrer por fatores naturais ou artificiais. Os primeiros são, porém passageiros, como as grandes ventanias que atiram poeiras a enormes alturas, que, no entanto, cessada a tormenta, pousam no solo sem causar danos duradouros; tais são também as erupções vulcânicas que contaminam a atmosfera com partículas e aumento da temperatura, mas a transitoriedade do fenômeno permite a recomposição natural do ambiente. O desequilíbrio grave provém de causas artificiais, decorrentes da ação produtiva do homem, que polui o ar mediante a emissão de variados tipos de poluentes produzidos pela combustão de madeira, de lenha, de florestas e campos, pela incineração de lixo, pela queima de combustível por veículos a motor, navios e aviões, pela fumaça das residências e, particularmente, por partículas expelidas pelas fábricas...”.

Quando falamos em poluição ou contaminação atmosférica, temos de considerar suas proporções, onde temos em primeiro lugar as alterações globais e em escala secundária, as ações locais. As ações globais são conseqüências das ações locais e são as que mais preocupam, pois podem afetar grandes áreas geográficas e repercutem-se em todo o planeta, sejam chuvas ácidas, perda da camada de ozônio ou aquecimento da terra.

2.2.1 Chuvas ácidas

Ocorrem através das chuvas com pH inferior a 5,6. Produzem efeitos drásticos às florestas, deixando os solos cada vez mais vulneráveis ou deteriorando-os, afetando direta e indiretamente a flora, e conseqüentemente a fauna. Os agentes contaminantes são transportados pela corrente de ar, da origem poluidora até diferentes locais, onde grande parte do SO_2 emitido para a atmosfera é oxidado transformando-se em SO_3 que, quando em reação com vapor de água, forma o ácido sulfúrico (H_2SO_4). Como os sulfatos se dissolvem em água, são levados pela chuva, vindo a prejudicar o meio ambiente.

2.2.2 Perda da camada de ozônio

O ozônio, um dos gases que compõem a atmosfera, formado na estratosfera, atua como uma camada de proteção das radiações ultra violetas, servindo como proteção aos seres vivos. Na medida em que aumenta a camada de gás carbônico reduz a camada de ozônio, fazendo com que passe mais facilmente os raios ultra violetas, afetando a saúde dos seres humanos (como câncer de pele) e alterando o clima da terra, fazendo com que haja um maior aquecimento de sua superfície, trazendo uma série de problemas ligados a isso (o maior seria o descongelamento das geleiras polares com a elevação do nível dos mares), além de promover várias mudanças na flora e fauna. A redução desta proteção natural, deve-se principalmente ao uso incontrolado de produtos organohalogenados e de clorofluormetanos (produtos muito utilizados em aparelhos de ar condicionado, refrigerantes e tubos de aerosol, fertilizantes agrícolas e óxido de nitrogênio, este liberado por aviões supersônicos) que, através de reações fotoquímicas, causam a redução da camada de ozônio).

2.2.3 Inversão térmica

A inversão térmica, por exemplo, age como um tampão, paralisando o movimento vertical do ar proveniente das camadas inferiores, porque o ar quente na camada da inversão é mais leve que o ar frio de baixo. Isto significa uma estratificação estável que suprime o movimento ascensional do ar, impedindo deste modo a subida da poeira e da fumaça desencadeando assim os grandes desastres da poluição atmosférica.

As áreas de alta pressão (anticiclones) estão geralmente associadas à descida de grandes capas de ar, que fazem baixar o gradiente de temperatura e ocasionam inversões na troposfera inferior. Segundo Carvalho (1975, p. 111): “por este motivo que as inversões térmicas e o anticlones estão sempre presentes e juntos nos grandes desastres da poluição do ar, como o do Vale do Meuse na Bélgica, Londres e Donora na Pensilvânia”.

No caso da Bélgica, o fato teve lugar no ano de 1930, durante os primeiros dias de dezembro e teve como principal causa as atividades da cidade industrial de Liège.

Durante o fenômeno processou-se uma inversão de temperatura e um anticiclone sendo que o saldo trágico foi a morte de 60 pessoas.

Para se ter uma idéia da quantidade de indústrias ali existentes, existiam, numa área de aproximadamente 2 km por 24 km, 4 usinas de aço, cada uma com instalações de coque, alto forno e forno de solda, 3 grandes fábricas metalúrgicas, 4 usinas de energia elétrica, 6 fábricas de vidro, cerâmica e tijolos, 3 grupos de fornos de calcificação, 3 fábricas de zinco, 1 fábrica de ácido sulfúrico, 1 fábrica de fertilizantes com estufas de secagem, sendo que todas as residências locais queimavam carvão, num total de 26 indústrias com 29 substâncias poluentes.

Em Londres o fenômeno teve lugar também no inverno de 5 a 9 de dezembro de 1952. A inversão térmica processou-se ali a 300 m de altura. A visibilidade só era possível a um metro de distância sendo que todos os policiais usaram máscaras contra gases. O British Committee on Air Pollution constatou 4.000 mortes a mais do que o normal naquela época do ano e durante os dois meses que se seguiram a taxa de mortalidade subiu, tendo ocorrido nestes dois meses 8.000 mortes a mais.

Já em Donora, nos Estados Unidos, o fenômeno resultou de uma inversão térmica associada a um anticiclone e durou de 27 a 30 de outubro de 1948. Dos 14.000 habitantes da cidade, cerca de 6.000 (40 %) adoeceram e 20 morreram. Aproximadamente 10 anos depois ficou provado que os 40 % da população jamais gozaram de boa saúde.

Este centro industrial possuía uma grande usina de aço com alto forno, uma fábrica de zinco com fornos de redução, uma fábrica de ácido sulfúrico e, nas proximidades, duas fábricas de aço e uma de subprodutos além de uma de aço e subprodutos em Clairton, uma fábrica de vidros e uma usina elétrica. Entre as 19 substâncias poluentes se encontravam o dióxido de enxofre e o monóxido de carbono.

Esses fenômenos ocorrem com maior intensidade nas cidades mais industrializadas, com grande concentração de veículos, maiores populações concentradas em menores espaços, menos áreas verdes ao redor dos grandes centros, trazendo problemas como odores desagradáveis, saúde debilitada, redução da visibilidade, que apesar de tudo, por enquanto se restringe a um problema angustiante e atinente aos espaços culturais altamente industrializados, mas que nem por isso deixa de representar terrível ameaça a toda biosfera.

A redução da poluição atmosférica do ar nos centros urbanos, exige um imenso investimento econômico, acima de tudo cultura, para que consigamos reduzir a emissão de poluentes até o ponto em que seus efeitos não serão mais graves ou quase totalmente eliminados.

2.3 Clima e Tempo

Segundo Andrae (1978, p. 11):

Sob clima entende-se a soma dos acontecimentos meteorológicos, que representam as condições médias da atmosfera em qualquer ponto da superfície terrestre. Geralmente se avaliam estas condições para um espaço temporário maior, informando das regularidades com a qual os acontecimentos voltam inalterados. O clima real, especialmente quando se trata de espaços limitados (partes de paisagens, povoamentos), também é formado por outros fatores do ambiente (inclinação), exposição, altitude, ação dos ventos, blindagem do sol ou da precipitação, vegetação como proteção ao solo, etc.). Conforme a extensão do lugar representado por certo tipo de clima, distinguem-se diferentes categorias de clima, como

clima geral (por exemplo subtropical de montanha), clima regional (por exemplo Depressão Central), mesoclima (habitat específico) e microclima (clima de áreas mínimas, como de uma folha, etc.). Os elementos que determinam o clima de um lugar são, entre outros, principalmente: temperatura, ventos, umidade do ar, precipitação, neblina, pressão do ar e luminosidade.

O clima não responde imediatamente às emissões de gases poluentes. Há evidências de que a mudança no clima já tenha começado, e continuará mudando ainda por muitos anos mesmo que a camada do efeito estufa venha a ser mantida equilibrada. Ele varia naturalmente, tornando difícil de identificar os efeitos destes gases.

Texto retirado do site <<http://www.fes.uwaterloo.ca/faculty/publications-f.html>>. Acesso em: 19 mar. 2002, diz que os cientistas acreditam:

Que evidência do equilíbrio sugere uma influência humana discernível em clima global. Se nada for feito para reduzir as emissões de gases atuais, pesquisas sobre o clima predizem um aquecimento global de 2° C entre 1990 e 2100. O alcance da incerteza nessa projeção é de 1° a 3,5° C, que possivelmente causariam uma elevação dos mares de aproximadamente 50cm até o ano 2100. O alcance da incerteza nessa projeção é grande, podendo variar de 15 a 95 cm.

Registros indicam que a temperatura média global subiu de 0,3° a 0,6° C desde 1860, e que o nível dos mares subiu de 10 a 25 cm (www.fes.uwaterloo.ca/faculty/publications-f.html. Acesso em: 18 mar. 2002), como mostra a figura 5.

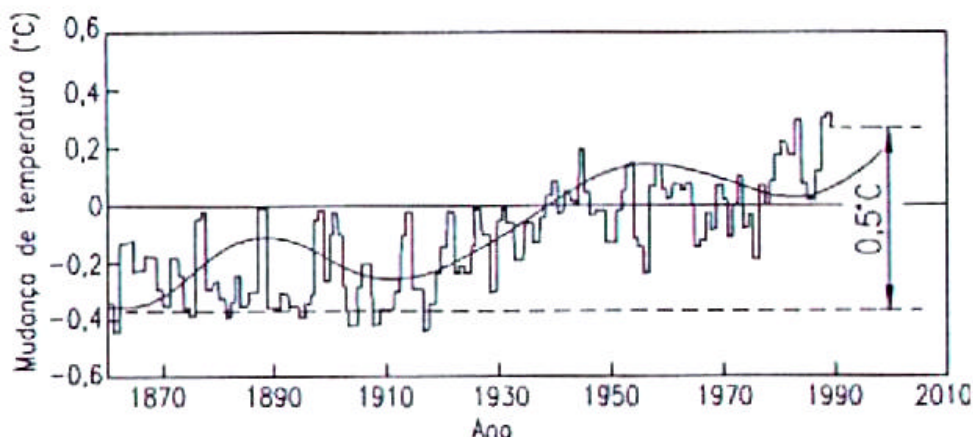


Figura 5: Variação da temperatura média anual da Terra nos últimos 130 anos (IPCC, 1990).

Fonte: LORA, E. S. (2000, p.94) Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transportes.

Não se deve comparar clima e tempo como tendo o mesmo significado. Por clima, entende-se condições médias de vários anos de uma forma geral, e de certa forma até constante, podendo ser do tipo tropical, de montana, etc.; e tempo, refere-se a acontecimentos cotidianos, decorrentes das características de cada micro região ou até, como efeito das mudanças climáticas pelas quais estamos passando, podendo divergir tão rapidamente quanto for o momento, e podendo até, às vezes, não representar diretamente o clima característico de uma região, como por exemplo, vir a nevar numa área de clima tropical. Isto quer dizer que o clima desta região sofreu uma influência do clima de outra região, afetando as condições do tempo para aquela data.

2.4 Os Efeitos da Floresta sobre a Composição do Ar

Através da fotossíntese, as plantas anualmente transformam carbono em substâncias vegetais. Porém, a maioria das substâncias vegetais são reduzidas liberando o CO_2 disponível para uma nova fotossíntese e, em contrapartida, gastando novamente o oxigênio produzido na fotossíntese na redução das plantas.

Com a intervenção cada vez mais acentuada do homem na utilização do carvão e do petróleo, a humanidade está alterando este equilíbrio, diminuindo a reserva de O_2 e aumentando a de CO_2 na atmosfera desde a revolução industrial, só que agora em escalas realmente preocupantes.

Segundo Burger (1980, p.63): “A continuação deste desenvolvimento pode ter as mais graves consequências ecológicas. A elevação da temperatura média em $4^\circ C$ resultaria na elevação do nível do mar em 35 m”. E como o gelo polar é o maior refletor da radiação solar, reduzindo sua camada, reduziria sua reflexão, aumentando ainda mais a temperatura no planeta.

Daí o porque de ecologistas do mundo inteiro demonstrarem suas preocupações pelo uso incorreto e indiscriminado destes recursos naturais, mostrando o atual distúrbio entre o balanço de O_2 e CO_2 e do equilíbrio energético.

2.4.1 Ciclo do carbono

O ciclo do carbono passou a despertar maior interesse a partir da década de 70, quando se tornou evidente o aumento contínuo e constante da concentração do gás carbônico na atmosfera.

Existem três grandes reservatórios de carbono na natureza: a biosfera, os oceanos e a atmosfera. O grande reservatório de CO_2 no sistema é a atmosfera, como podemos observar na figura 7 (p.43).

A importância do ciclo do carbono está na participação destas moléculas em toda a atividade vital da biosfera. Nela se encontram uma enorme variedade de compostos de carbono que estão em formação, transformação ou decomposição e que são a dinâmica resultante da peculiaridade que exhibe o fitoplâncton do mar e as plantas da terra de utilizarem a energia luminosa do Sol para se transformar em anidrido carbônico. Ali também estão carregadas de águas as moléculas orgânicas supramencionadas.

O gás carbônico atua sob três regimes que preenchem seu complexo cíclico na definição da Vida.

O primeiro destes regimes estabelece o ciclo respiração/fotossíntese, já alterado pelo homem, na atmosfera, de grande quantidade de dióxido de carbono, pela combustão dos chamados “óleos fósseis”.

Manter a cobertura vegetal necessita de uma série de processos químicos e transformações que postulam por sua vez a existência de energia. Esta se consegue devido as reações que empregam o oxigênio da água e do ar em volta para libertar a energia produzida e guardada pela fotossíntese. O processo que liberta o anídrido carbônico é a respiração.

Segundo Carvalho (1975, p.78):

O ciclo do carbono revela dados e quantidades verdadeiramente surpreendentes. Está provado que uma determinada célula com CO_2 da atmosfera entra em certa estrutura vegetal uma vez em cada 200 anos e que todo o oxigênio do ar é renovado pelos vegetais de 2.000 em 2.000 anos. O carbono da estratosfera e dos oceanos está estimado em 500 trilhões de toneladas o que garante a fixação fotossintética por mais de 500 anos.

Em ambientes limitados, como fundo de lagos ou pântanos, pequenas quantidades de anídrido carbônico são fixados na matéria orgânica por um período curto de tempo, mas todo o carbono utilizado pelos vegetais dos ecossistemas é novamente transformado em anídrido carbônico dentro do mesmo ecossistema. Esta porção do carbono tende a trabalhar normalmente fazendo com que a quantidade de carbono do ar permaneça constante.

Todo carbono fixado na Terra é devolvido à atmosfera através da decomposição da matéria orgânica morta, como folhas de vegetais, que são oxidadas pela ação dos biorredutores.

O segundo regime do ciclo do carbono é o mais importante e estabelece as relações entre a atmosfera e o mar, embora o dióxido de carbono se dissolva muito rapidamente na água, mas nem por isso deixando de existir um equilíbrio constante entre o gás e o sistema carbonato-bicarbonatos dos oceanos.

Sabe-se que os mares são imensos reservatórios de carbono, ajudando a agir como reguladores do anídrido carbônico na atmosfera.

Já o terceiro regime resulta das perdas dos “cadáveres” como turfas, carvão de pedra e depósitos de óleos e que estão “fora do ciclo” há milhões de anos, mas que através da ação do homem, estão retornando ao ciclo.

2.4.2 Ciclo do oxigênio

Devido ao fato das células dos animais pluricelulares diferenciados obterem sua energia decompondo o combustível que foi gerado durante a fotossíntese em presença do oxigênio, processo pelo qual chamamos de respiração, conta a favor do desenvolvimento pluricelular na Terra, somente depois do aparecimento do oxigênio livre na atmosfera.

Somente elevados desprendimentos de energia compatíveis com o metabolismo oxidante poderiam permitir o desenvolvimento de organismos mais complexos.

Em contrapartida, o oxigênio livre é também um destruidor em potencial do processo que apelidamos de “vida do carbono”, fato que se deve à espontaneidade com que ele reage com substâncias que já tenham sido reduzidas (que cederam oxigênio). Isto esclarece os efeitos tóxicos deste gás, quando sob a forma molecular livre ultrapassa determinados limites de concentração.

As organelas das células dos organismos superiores conhecidos como peroxissomas são dispositivos destinados a defendê-las contra o excesso de oxigênio. Estas organelas reduzem o oxigênio em velocidades proporcionais ao aumento da concentração do gás molecular.

O próprio aparelho respiratório humano aproveita somente e sempre uma pequena parte (cerca de um quarto) da quantidade de oxigênio inspirada pelos pulmões.

Para Carvalho (1975, p.84) :

Inicialmente, nos primeiros passos da Vida, os organismos tiveram de realizar suas oxidações anaerobiamente e a duras penas – por assim dizer – retirando hidrogênio dos alimentos ao invés de lhes fornecer oxigênio. Além de manter a vida, o oxigênio emana dela própria, o que inspirou André Boivin a cognominá-lo de “subproduto da Vida” pois que o oxigênio existente hoje na biosfera tem quase toda sua totalidade originária da fotossíntese inicial.

A fermentação (combustão dos corpos ternários) é uma forma de vida muito primitiva, enquanto que as formas superiores postulam valores energéticos que só o metabolismo oxidante é capaz de oferecer. Já nos processos anaeróbios de fermentação, as moléculas orgânicas atuam como receptores de hidrogênio gerando água, resultando na oxidação de alguns compostos orgânicos e na redução de

outros. É assim que parte da molécula de açúcar se oxida a anidrido carbônico enquanto outra parte se reduz a etano na fermentação da glicose pelas leveduras.

O próprio ozônio que defende o fenômeno vital da agressão das radiações de comprimento de onda muito curto, como os U.V. (raios ultra violeta), é um estado alotrópico deste gás que é assim parcialmente retirado da atmosfera.

O oxigênio pode combinar-se com uma grande variedade de substâncias e representa cerca de um quarto dos átomos da matéria viva, o que favorece o dinamismo e a interligação da biosfera com seus principais setores como sua atmosfera, hidrosfera e litosfera.

Se tivéssemos de estabelecer relações entre as quantidades de oxigênio e dióxido de carbono na atmosfera e aquele de que necessitamos para nossa respiração, poderíamos compor o seguinte quadro:

Tabela 1: Teor (%) de gases durante a respiração.

	Ar inspirado	Ar expirado	Ar alveolar
Oxigênio	20,9 %	16,3 %	14,2 %
Dióxido de Carbono	0,03 %	4 %	5,5 %
Outros gases	79,02 %	79,7 %	80,3 %

Fonte: Carvalho, B. A. (1975, p.88) Ecologia e Poluição

Por estes dados observa-se logo que o oxigênio realmente respirado é 4,6% do volume total do ar que ingressa no pulmão e não 20,9 % como pode parecer à primeira vista.

Tabela 2: Balanço final da respiração.

	Atmosfera	Respiração
Oxigênio	21 %	- 4,6 %
Dióxido de Carbono	0,03 %	+ 3,97 %
Outros gases	78 %	- 79 %

Fonte: Carvalho, B. A. (1975, p.86) Ecologia e Poluição

Este segundo quadro mostra que a quantidade de oxigênio necessária para a manutenção da vida humana retirado da atmosfera (4,6 % para a respiração) corresponde a uma inclusão nesta mesma atmosfera de aproximadamente a mesma quantidade (3,97 %) de anídrido carbônico.

2.4.3 Influência da luminosidade sobre o crescimento

A assimilação de CO_2 pelas plantas tem início quando a intensidade de luz ultrapassa um determinado limite, chamado de ponto de compensação. Este ponto, porém, é variável até para as folhas do mesmo indivíduo, variando também conforme a estação do ano e com a temperatura, ou seja, folhas do sol têm pontos de compensação mais alto do que folhas da sombra.

Aumentando-se a luminosidade, não há mais o equilíbrio entre assimilação e liberação de CO_2 , mas aumenta a quantidade de CO_2 fixado, seguindo uma curva de saturação, variando conforme a espécie, como mostra figura 6.

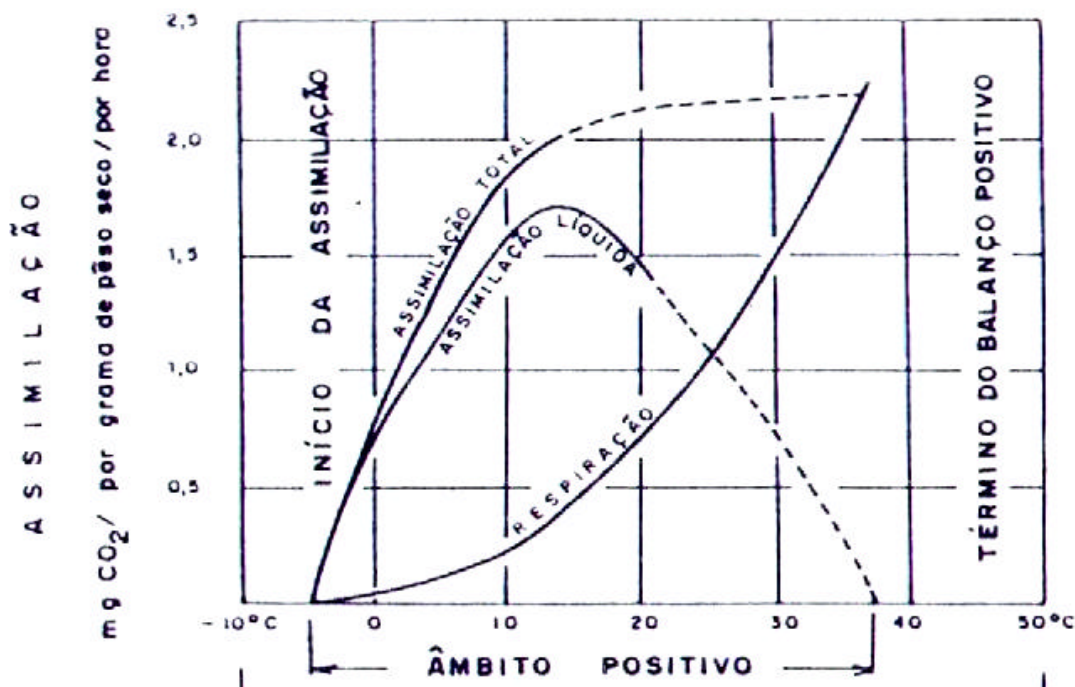


Figura 6: Fotossíntese e respiração em dependência de temperatura.

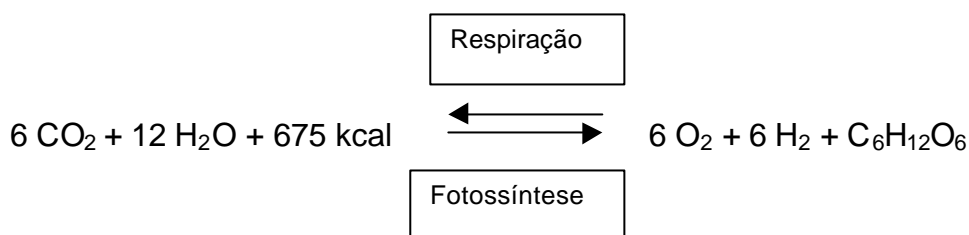
A intensidade de radiação luminosa no povoamento influi sobre as forças de evaporação da umidade do solo, sobre o déficit de saturação do ar e, conseqüentemente, sobre a transpiração das plantas e folhas dos estratos inferiores.

A energia radiada num povoamento é gasta, na sua maior parte, para esquentar o ar, o solo e a biomassa e para a evaporação da água. O consumo de energia da floresta para a assimilação de CO_2 é mínimo, correspondendo a aproximadamente 1 (até 2) % da energia radiada. Mitscherlich (citado por ANDRAE, 1978) cita um exemplo para um povoamento de *Picea excelsa* (Alemanha), com uma produção anual de 10 toneladas de matéria seca (madeira seca) por hectare (correspondente a cerca de 5 toneladas de C). Para assimilar 1 g de C são necessárias 9.972 calorias. Considerando o consumo durante a época vegetativa (150 dias), o autor calculou que, das 300 cal/cm² radiadas em média, 3,3 cal/cm²/dia (ou 1,1 %) seriam usadas para a produção de matéria seca. Em outros termos, também poderíamos dizer que a floresta consome em média 0,005 cal/cm²/min para fazer fotossíntese.

2.4.4 O₂ e CO₂ no povoamento florestal

A produção de massas vegetais, num povoamento florestal, origina-se da assimilação do CO_2 , do índice de área foliar e da vida do meio de produção (folha). A maior importância entre eles pode variar de caso a caso. A fotossíntese ou assimilação de CO_2 origina um dos fenômenos mais especiais da terra, sem o qual não existiria nenhuma outra manifestação de vida.

A produção (crescimento) florestal, como resultado da fotossíntese, precisa, além de outros elementos, principalmente de CO_2 , que está disponível em 0,03% do volume da atmosfera (ou 0,05 % da massa da atmosfera). A assimilação de CO_2 , que está intimamente relacionada com o consumo de água (transpiração), acontece por meio de uma entrada passiva através dos estômatos, cuja abertura é regulada principalmente pela intensidade da luz e o regime hídrico interno da planta. Desta maneira, o CO_2 é consumido durante o dia (somente em raras exceções durante a noite) e liberado durante os processos de respiração, formando-se assim, um fluxo de CO_2 na planta e em torno dela, baseado no princípio do seguinte processo:



A influência do próprio gás carbônico sobre a produtividade consiste no fato de que teores acima da concentração média do ar favorecem a fotossíntese. Tecnicamente se aproveita isto em cultivos intensivos em estufas (verduras, flores, mudas) através de uma “adubação” com CO_2 de até 0,2 %. Atualmente a utilização de combustíveis fósseis e também de recentes combustíveis, devolve ao ar o carbono que foi retirado e fixado na biomassa há milhões de anos. Em zonas industriais, devido a esta combustão, verificou-se um aumento do teor médio de CO_2 para 500 ppm, o que vem até beneficiar a produtividade vegetal.

O ganho em assimilação (taxa de assimilação líquida = diferença entre a produção total menos os gastos) faz parte do fluxo de CO_2 no habitat, sendo até possível estimar a produção de matéria de um povoamento através do registro e da análise dos fluxos de CO_2 .

No povoamento, o fluxo de CO_2 ocorre na corrente que existe entre a planta viva (fixação), o ar (reservatório) e o solo (liberação de CO_2 a partir da matéria orgânica morta. O CO_2 que é produzido pela intemperização da matéria orgânica do solo é rapidamente dissolvido pela turbulência do ar. Como a circulação do CO_2 também acontece na camada da atmosfera relativamente perto da superfície do solo, significa que a circulação do CO_2 ocorre num círculo mínimo e limitado, para o qual o resto do CO_2 em toda a atmosfera serve mais como reservatório (ANDRAE, 1978).

Entre as biomassas mais importantes na fixação de CO_2 , destacam-se as florestas, que possuem as maiores acumulações de material orgânico. Nas regiões tropicais e temperadas úmidas foram medidas biomassas de até mais de 400 t/ha; nas latitudes maiores da zona temperada fria, além das latitudes 50 e 60°, foram encontradas as florestas com as maiores quantidades de matéria orgânica morta, tendo massas de 25 a 100 t/ha (ANDRAE, 1978). Os dados absolutos da tabela seguinte demonstram a importância relativa do C fixado organicamente quando comparado com a quantidade de C disponível na atmosfera.

Tabela 3: Relação das reservas de carbono na Terra

Reservas – anorgânicas (em Gt)	
Atmosfera	700
Hidrosfera (água doce, mares)	35.250
Litosfera: carvão e petróleo	7.500
Litosfera: rochas (carbonatos)	25.000.000
Reservas – fixadas inorganicamente	
Biomassa Total (98 % terrestre)	420
Detritos e sedimentos orgânicos (80 % no mar)	3.710

Fonte: ANDRAE, F. H. (1978, p.62) Ecologia Florestal.

Podemos observar o fluxo de CO₂ com seus principais reservatórios e fluxos, Conforme fig. 7, onde Houghton e Woodwell (1989) e Watson *et al.* (1990) estimaram que cerca de 1.000 Gt de carbono estão estocados nos primeiros 100 m de profundidade dos oceanos, e 38.000 Gt estão estocadas abaixo daquela profundidade. No solo, a quantidade de carbono armazenada chega a quase 1.500 Gt, na biota estão estocadas 560 Gt e a atmosfera contém aproximadamente 750 Gt. Finalmente, na forma de óleo, carvão e gás, estão estocadas de 5.000 a 10.000 Gt.

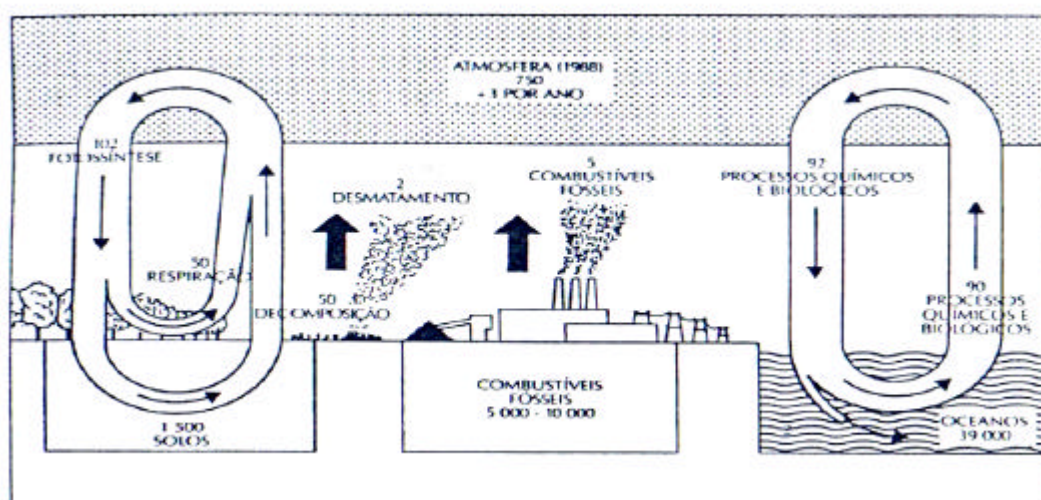


FIGURA 7: Diagrama do ciclo global do carbono com seus principais reservatórios e fluxos em Gt.

Fonte: Legget, 1990, citado por Companhia Vale do Rio Doce no livro Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, pg. 82, Rio de Janeiro, 1994.

Segundo Houghton e Woodwell (1989) e Watson *et al.* (1990) citados por Companhia Vale do Rio Doce no livro Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, pg. 82, Rio de Janeiro, 1994, estimaram que a biota terrestre, dominada em grande parte pela vida vegetal, absorve cerca de 102 Gt de carbono via fotossíntese. O processo respiratório devolve à atmosfera cerca de 50 Gt de carbono que, somada a outras 50 Gt resultantes da decomposição de matéria orgânica, perfazem um total de 100 Gt, existindo um acúmulo de cerca de 2 Gt por ano na biota terrestre.

Já entre a atmosfera e o oceano há uma troca anual de aproximadamente 90 Gt de carbono, com um saldo final próximo de 2 Gt acumulados à atmosfera, devido a processos químicos e biológicos.

A produção (fixação) contínua de substâncias orgânicas e a simultânea liberação pelo intemperismo das substâncias mortas é responsável por um determinado equilíbrio. A ignição de fósseis não pode mudar fundamentalmente as condições existentes, já que o CO₂ é facilmente solúvel na água dos mares, sendo estes, então, um vasto sistema de tamponamento.

Os fluxos de CO₂, na circulação menor entre consumo e liberação na floresta, podem ser observados nitidamente quando se analisa os “perfis de concentração de CO₂”. Estes, mostram oscilações distintas entre dia e noite devido à dependência de maior ou menor intensidade fotossintética. Os dados por si já comprovam que os fluxos no povoamento ocorrem num sistema bastante fechado, constituindo o CO₂ da atmosfera geral somente um reservatório.

Devido a atmosfera possuir um elevado conteúdo de O₂ (cerca de 21 % volumétricos), e que, no mesmo grau que ocorre consumo de CO₂ há liberação de O₂, seria muito difícil verificar a fotossíntese através do balanço de O₂, pois o aumento e, respectivamente a diminuição, é inexpressivo, uma vez que a própria medição do balanço de CO₂ é muito dificultada quando ocorrem maiores turbulências.

Já que o fluxo de CO₂/O₂ estão intimamente relacionados devido a fotossíntese, deve-se levar em conta algumas considerações a respeito da “produção de oxigênio”, que muitas vezes é apontada como vantagem benéfica das florestas para a humanidade. Sabe-se que a troca dos gases ocorre segundo a fórmula de fotossíntese, correspondendo à absorção de 1 Mol de CO₂ a liberação de 1 Mol de O₂. Levando-se em conta que na respiração há a troca inversa (consumo de O₂),

notamos que, numa floresta em pleno equilíbrio (produção = decomposição, significa que a deliberação de O_2 = consumo de O_2 para decompor a substância orgânica morta), como é o caso das florestas virgens, o ganho líquido em O_2 é inexistente. Mesmo quando esta suposta floresta for explorada, não significa ganho algum em O_2 , pois algum dia a massa orgânica explorada será consumida (decomposição, ignição), implicando o consumo de O_2 do ar para liberação do CO_2 armazenado. Cálculos mostrados por diversos autores, que muitas vezes são apresentados para dar destaque ao papel das florestas, chegam a afirmar, que um hectare de floresta seja capaz de suprir a necessidade de oxigênio de 35 pessoas; estes cálculos se baseiam em vários erros. Desconsideram completamente que há um consumo de oxigênio pela respiração e decomposição, igual ao oxigênio “produzido”. Mas um ganho líquido da atmosfera em oxigênio somente seria possível se não houvesse decomposição, mas somente fotossíntese.

Outro erro está na avaliação errada do montante de O_2 liberado pela fotossíntese em relação ao total de oxigênio existente na atmosfera. Já que a troca de CO_2/O_2 se corresponde, não deveria aumentar o conteúdo de oxigênio do ar em mais do que existente em CO_2 (partindo da inexistência de qualquer consumo de O_2). Sabendo-se que o ar é composto de 21 % de oxigênio, e somente 0,03 % de CO_2 , observamos que o completo consumo do gás carbônico do ar incrementaria insignificamente a disponibilidade de O_2 . Mesmo que imaginemos a possibilidade de queimar todos os combustíveis fósseis, a sobrevivência do homem não estaria em risco, pois, na pior das hipóteses, diminuiria em 3 % o conteúdo de oxigênio do ar (Mitscherlich, citado por ANDRAE, 1975). Possíveis consumos extraordinários de O_2 por combustão concentrada de matérias fósseis poderia causar diminuições apreciáveis do teor de oxigênio no ar, porém de efeito local e curta duração, já que há uma mistura contínua do ar por vento, turbulência e difusão. A vantagem da floresta não consiste portanto em ser “produtora de oxigênio”, mas sim no seu efeito purificador em relação aos agentes poluentes (aerosolúveis, poluição gasosa e poluição sonora). Além disso, deve-se lembrar que não seriam as florestas as únicas produtoras de oxigênio, pois o mesmo fenômeno deveria ser válido para as culturas agrícolas e pastagens.

2.5 Mudança Climática

A taxa e a extensão do aquecimento global dependem da concentração de CO₂ e de outros gases do efeito estufa na atmosfera. Para manter esse aquecimento a níveis aceitáveis, a concentração de CO₂ precisa ser controlada, e para essa estabilização ocorrer, é necessário a diminuição das atuais taxas de emissão.

Em 1995, cerca de 2000 cientistas que compõem o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), chegaram a conclusão, após um processo de avaliação que durou vários anos, que as evidências científicas indicam “uma influência perceptível” no clima global, no que se refere às atividades humanas. A temperatura média da Terra aumentou 0,5°C no último século, e mantendo-se os atuais níveis de emissões de gases associados ao efeito estufa (GHGs), aumentará em média 1 a 3,5°C até o ano de 2060, quando a concentração de CO₂ na atmosfera deverá chegar ao dobro dos níveis pré industriais. Efeitos previsíveis desta alteração climática são mudanças nos regimes agrícolas e o aumento do nível dos mares. Outros efeitos, mais difíceis de prever, por serem eventos mais extremos, tais como furacões, tempestades, secas e enchentes, podem ter frequências e intensidades aumentadas.

Está provado através de levantamentos científicos (Protocolo de Kyoto em anexo A) que os países industrializados do norte são responsáveis por grande parte das emissões atuais e historicamente acumuladas de CO₂ na atmosfera, ao longo do último século. Enquanto os países do norte foram responsáveis por cerca de 61 % das emissões em 1995, a sua contribuição ao estoque histórico de CO₂ na atmosfera foi de 80 %. No entanto, as emissões dos países do sul estão crescendo muito rapidamente. Seguindo as atuais tendências, as mesmas ultrapassariam as do norte em 2015. A contribuição dos países do sul ao estoque global de CO₂ será igualada à do norte em 2035/2040, se incluirmos o desmatamento, ou entre 2055/2065 incluindo apenas a queima de combustíveis fósseis. Aproximadamente 70 % do estoque de CO₂ e similares são provenientes da queima de combustíveis fósseis. Os 30 % restantes resultam de “mudanças no uso da terra”, principalmente pelo desmatamento.

Em 1987, cientistas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) mediram a fixação de carbono na floresta de terra firme, próxima de Manaus. Embora o

período de dados aproveitáveis tenha sido curto, os resultados sugeriram que a floresta estava retirando da atmosfera cerca de 6 quilos de carbono por hectare ao dia. Analisando esses dados, Luiz Carlos Baldiciero Molion em seu artigo do site (<<http://www.ecolnews.com.br/carbonoefeitoestufa.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2001), diz que não se deveria generalizar esse número para toda a Amazônia, mas se tal fosse feito, somente a floresta brasileira, com áreas estimadas em 390 milhões de hectares, estaria seqüestrando cerca de 850 milhões de toneladas de carbono por ano. Para Moreira (2000, p.24):

Em termos de emissões absolutas, em 1990 o total global de emissões de CO₂ do setor energético foi de aproximadamente 6 bilhões de toneladas (Gt) por ano (+/- 0,5 Gt). A contribuição dos EUA ficou em torno de 1 Gt, com valor semelhante para Europa Ocidental. A contribuição do desmatamento foi estimada entre 0,6 Gt e 2,6 Gt por ano. Atualmente, calcula-se que as emissões globais estejam ultrapassando os 7 Gt/ano, sendo os Estados Unidos responsáveis por 25 %.

Em artigo publicado no número 5 da revista Imagens da Amazônia, em 1993, citado no mesmo site acima, Molion colocava a seguinte questão:

Dos 6,7 bilhões de toneladas de carbono liberados pelas atividades humanas, estimava-se que cerca de 3,3 bilhões de tC acumulavam-se na atmosfera e o restante era absorvido pelos oceanos. Porém, há três anos, uma equipe de Administração Nacional de Oceanos e da Atmosfera (NOAA), dos EUA, demonstrou que a absorção de carbono pelos oceanos está sendo de apenas 1,5 bilhões de tC, que somados aos 3,3 bi de tC que ficam na atmosfera perfazem 4,8 bi tC. Onde estariam perdidas as quase 2 bi tC que faltam para fechar o balanço? Das duas uma: ou os novos dados oceânicos estão subestimando a absorção de carbono ou o carbono perdido está sendo absorvido pela vegetação terrestre, das quais fazem parte as florestas temperadas (que funcionam apenas parte do ano), e as florestas tropicais (que agem no ano inteiro por serem bem supridas de luz solar e água).

Segundo os Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócio (1994, p.50):

O resultado líquido do fluxo de carbono na atmosfera resultante das mudanças no uso da terra não é medido diretamente, mas é calculado através de modelos que rastreiam as áreas e a idade dos ecossistemas em diferentes usos da terra e o destino do carbono inicialmente no ecossistema (isto é, a queima e decomposição da madeira e produtos da madeira, assim como a oxidação do carbono do solo). O cálculo também inclui o reacúmulo do carbono na vegetação e solo das florestas que estão crescendo novamente após corte, abandono de agricultura e reflorestamento. A abordagem, a fonte e os dados específicos usados nos cálculos foram

descritos em publicações anteriores em Houghton *et al.*(1983, 1985, 1987, 1991 a,b).

Oliver Phillips, da Universidade de Leeds (Reino Unido), em artigo publicado na revista Science em 2000, concluiu que só as florestas da América do Sul retém 0,62 bilhões de toneladas de carbono por ano, ou quase 40 % das 1,9 bi tonC do qual não se sabia o destino. Sua equipe chegou a essa conclusão depois de realizar 600 mil medições do volume de madeira em árvores de florestas de 12 países. Em outro artigo na mesma revista, um grupo da Universidade de Princeton (EUA), utilizando modelos matemáticos, concluiu que as florestas dos EUA e Canadá absorvem 1,7 bilhão de toneladas de carbono, ou 90 % do carbono perdido. O curioso é que esse número é exatamente a quantidade de carbono emitida pelos dois países com a queima de combustíveis. Por não fechar essa conta, passando de 100 %, conclui-se que um dos dois grupos está superestimando seus números. Fazendo pesquisas de campo no assunto há 19 anos, Niro Higuchi, do Instituto de Pesquisas da Amazônia (IMPA), chegou a conclusões mais modestas. Analisando somente a fixação de carbono na madeira (ou seja, o seqüestro do carbono da atmosfera através da fotossíntese), Higuchi concluiu que a floresta de terra firme próxima de Manaus seqüestra anualmente uma tonelada de carbono por hectare. Experiências semelhantes realizadas no Peru, Colômbia, Venezuela e em florestas de Rondônia e do Pará apresentaram resultados semelhantes.

Por esses dados, a floresta Amazônica seqüestra anualmente 250 milhões de toneladas de gás carbônico. O trabalho do cientista brasileiro foi publicado na revista Science nº 282, de outubro de 1998. Em uma simulação para constatar quanto o ser humano, em valores monetários, retira da natureza absolutamente de graça, alguns economistas chegaram à conclusão de que a regulação do ar pelas florestas está avaliada em 141 dólares por hectare por ano. Nesse caso, a dívida anual da humanidade apenas com a floresta Amazônica estaria estimada em mais de 35 bilhões de dólares.

Segundo os Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil (1994, p.43):

As florestas são importantes para o equilíbrio de carbono global, pois guardam dentro de suas árvores e no solo mais carbono do que o existente atualmente na atmosfera. As florestas mundiais fixam mais de 75 % dos 560 PgC guardados na vegetação terrestre. Dos 1400 até 1500 PgC do metro

superior do solo do mundo, as florestas são responsáveis pela metade. Se as florestas forem cortadas, a maior parte do carbono guardado nas árvores será liberada na atmosfera rapidamente através de queimadas ou mais lentamente através de decomposição. Cerca de 25 % do carbono existente no metro superior de solo são também perdidos na atmosfera se o solo for cultivado. Se áreas desmatadas são reflorestadas, o carbono é mais uma vez retirado da atmosfera e armazenado na terra. Esta é a razão pela qual mudanças nas regiões com florestas afetam a concentração de carbono na atmosfera. Derrubada, seguida por recrescimento, pode não ter nenhum efeito no carbono atmosférico a longo prazo se a recuperação for completa..... As florestas cobrem cerca de 30 % da superfície da terra e guardam cerca de 85 % do carbono orgânico vivo sem contar o solo.

Como resposta internacional para tentar controlar essa mudança de clima, uma Primeira Conferência do Clima Mundial reconheceu a mudança do clima como um problema sério em 1979. Cientistas divulgaram como as mudanças climáticas poderiam afetar a humanidade. Emitiu uma declaração aos governos intitulada “do mundo prever e prevenir mudanças artificiais potenciais em clima que poderia ser adverso ao bem estar da humanidade”. Também endossou planejar estabelecer um Programa Mundial do Clima (WCP) sob responsabilidade em comum da Organização Meteorológica Mundial (WMO), o Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), e o Conselho Internacional de Uniões Científicas (ICSU).

Nos anos 80 e início dos anos 90 foram realizadas várias conferências intergovernamentais que enfocavam sobre as mudanças climáticas. Os eventos chaves eram a Conferência de Villach (outubro de 1985), a Conferência de Toronto (junho de 1988), a Conferência de Ottawa (fevereiro de 1989), a Conferência de Tata (fevereiro de 1989) e a Conferência de Bergen (maio de 1990).

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) divulgou seu primeiro relatório de Índices em 1990, que fora estabelecido em 1988 pela UNEP e WMO, e determinava o estado de conhecimento existente sobre as mudanças climáticas, impactos ambientais, econômicos e sociais e as possíveis estratégias de respostas. Foi aprovado após um processo de revisão, confirmando as evidências científicas sobre mudança do clima. Obteve forte efeito sobre o público geral.

Em 1990, a Segunda Conferência sobre Mudança do Clima, contou com a participação de 137 Estados mais a Comunidade Européia. Após muita discussão, não ficou especificado nenhum objetivo internacional para redução de emissões. Em dezembro de 1990, em Assembléia Geral, foi aprovado o início das negociações do tratado.

Em 1992 no Brasil, foi assinado por 154 Estados e Comunidade Européia a Convenção, que obteria força em março de 1994.

Em 1995, a Conferência das Partes se torna a última autoridade das Convenções e, asseguraria sua primeira sessão em 28 de março de 1995, em Berlim, com a participação de 117 Partes e mais observadores na (COP-1). Foi lançado o Mandato de Berlim, concordando que os compromissos da Convenção dos países desenvolvidos eram inadequados, precisando de novos compromissos. Com isso, o IPCC adotou seu Segundo Relatório de Índices em dezembro de 1995, escrito e revisado por mais de 2000 cientistas e peritos em tempo para a COP-2, confirmando a necessidade de estratégias no combate à mudança do clima.

Em dezembro de 1997, delegados, observadores e jornalistas, participaram de mais uma Conferência, e é adotado o Protocolo de Kyoto na COP-3.

3 PROTOCOLO DE KYOTO

Ao adotarem, em 1992, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, os governos reconheceram que ela poderia ser a propulsora de ações mais enérgicas no futuro. Ao estabelecer um processo permanente de revisão, discussão e troca de informações, a Convenção possibilita a adoção de compromissos adicionais em resposta a mudanças no conhecimento científico e nas disposições políticas. Ao contrário da maioria dos instrumentos legais internacionais o Protocolo e a Convenção Quadro tiveram origem no conhecimento científico.

Como previsto, foi conduzida a primeira revisão da adequação dos compromissos dos países desenvolvidos, na primeira sessão da Conferência das partes (COP-1), ocorrida em Berlim em 1995. Ficou decidido pelas Partes que o compromisso dos países desenvolvidos de reduzirem suas emissões para os níveis de 1990, até o ano de 2000, era inadequado para se atingir o objetivo de longo prazo da Convenção, que consiste em impedir “uma interferência antrópica (produzida pelo homem) perigosa no sistema climático”.

Ministros e outras autoridades responderam com adoção do “Mandato de Berlim” e com o início de uma nova fase de discussões sobre o fortalecimento dos compromissos dos países desenvolvidos. Um grupo sobre o Mandato de Berlim foi então formado para elaborar o esboço de um acordo que, após oito sessões, foi encaminhado à COP-3 para negociação final.

Aproximadamente 10.000 delegados, observadores e jornalistas participaram deste evento de alto nível realizado em Kyoto, Japão, em dezembro de 1997. A conferência culminou na decisão por consenso (1/CP.3) de adotar-se um Protocolo segundo o qual, em seu Artigo 3, compromissos para as Partes incluídas no Anexo I, os países industrializados reduziriam suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5 % em relação aos níveis de 1990 até o período entre 2008 e 2012, e que não excedam as quantidades atribuídas pelo próprio Protocolo, calculadas em conformidade com sua limitação quantificada de emissões e compromissos de reduções. Este compromisso, com vinculação legal, promete produzir uma reversão da tendência histórica de crescimento das emissões iniciadas nestes países há cerca de 150 anos. A sua plena implementação pode implicar na modificação dos sistemas do uso da terra e dos ecossistemas em escala mundial.

O Protocolo de Kyoto foi aberto para assinatura em 16 de março de 1998. Entra em vigor 90 dias após a sua ratificação por pelo menos 55 Partes da Convenção, incluindo os países desenvolvidos que contabilizaram pelo menos 55 % das emissões totais de dióxido de carbono em 1990 desse grupo de países industrializados. Para isso, torna-se praticamente obrigatória a aceitação do Protocolo pelos EUA. Enquanto isso, as Partes da Convenção sobre Mudança do Clima continuarão a observar os compromissos assumidos sob a Convenção e a preparar-se para a futura implementação do Protocolo.

No Protocolo de Kyoto não há compromissos adicionais para os países não incluídos no Anexo I, conforme disposto no Artigo 10 deste instrumento. Porém, reafirmou-se no Protocolo os compromissos existentes no Artigo 4, parágrafo 1, da Convenção.

Esta reunião em Kyoto, ocorreu sob um grande jogo de interesses muito distintos e resultados desejados no início das negociações por grupos, entre os quais:

- Os EUA, principal emissor de poluentes. Pressionaram pela “implementação conjunta” geral, inclusive entre países com limites de emissões e países sem limites, que queriam reduzir emissões voluntariamente, utilizando-se ao máximo de incentivos, flexibilidade e mecanismos de mercado. A posição americana estava baseada na chamada resolução Hagel-Byrd (Senado) que definia que os EUA não deveriam assinar nenhum acordo que tivesse impactos negativos na economia norte americana e que não tivessem participação significativa dos países do sul.
- A indústria petroleira e os países exportadores de petróleo (OPEP), que fizeram de tudo para inviabilizar qualquer tipo de acordo, sendo em conjunto com carvoeiras e outros, responsáveis pela mobilização da resolução Hagel-Byrd.
- A União Européia, que defendia a redução de 15 % abaixo do nível de 1990 até 2010. Aceitava a “implementação conjunta”, mas só entre países do norte e através de negociação política e não mecanismos de mercado.
- O grupo de países em desenvolvimento, o G77, pregava a responsabilidade do norte, e buscava recursos para criar o desenvolvimento sustentável. Considerava precipitada qualquer discussão sobre limites nas emissões do sul, e não aceitava mecanismos de mercado irrestritos.

O Protocolo reconhece a imensa responsabilidade dos países do norte no cumprimento de suas metas, cabendo aos países tomarem a iniciativa para a redução de suas emissões. Ele permite ainda a implementação de mecanismos de mercado de forma mais ampla do que a Europa gostaria, e menos do que os EUA defendiam.

Outro ponto defendido pelo Protocolo, determina que a absorção de carbono pelos “sumidouros”, que incluem florestas, será considerada no cálculo dos estoques e quantidades alocadas de emissões, mas não define claramente como calcular os efeitos destes sumidouros.

O não cumprimento das metas por qualquer país, fará com que seja debitada a diferença das emissões para o próximo período de compromisso. O Artigo 17 prevê que as partes poderão aprovar outros meios para lidar com os casos de não cumprimento das metas. O Protocolo é claro quanto à obrigatoriedade de mecanismos para contabilizar estas reduções.

Uma cópia do Protocolo com Artigos e Anexos estão no Anexo A.

3.1 Mecanismos de Flexibilidade

A maior novidade do Protocolo de Kyoto consiste na possibilidade de utilização de mecanismos de flexibilidade para que os países integrantes do Anexo I, deste Protocolo, possam alcançar os objetivos de redução de gases de efeito estufa, de maneira viável do ponto de vista de custos de cada país, sem, no entanto, comprometer a meta ambiental em questão.

Este termo, “medidas de flexibilidade”, foi criado pelos Estados Unidos, e refere-se aos mecanismos de implementação cooperativa estabelecidos no Protocolo de Kyoto. A idéia é que não haja hierarquia entre eles que são, basicamente, três: implementação conjunta (Artigo 6), comércio de emissões (Artigo 17), e o mecanismo de desenvolvimento limpo (Artigo 12); sendo os dois primeiros, mecanismos a serem implementados entre os países desenvolvidos (países do Anexo I), que têm compromissos de redução, e o último a ser implementado entre países que têm compromissos e países sem estes objetivos (países não Anexo I, ou países em desenvolvimento).

Tais mecanismos de flexibilidade ainda não foram regulamentados, restando ainda às Partes elaborar regras sobre sua implementação, mas segundo Cançado (2001, p.34):

É possível que as novas regras passem a vigorar a partir de 2002. O otimismo em relação às decisões foi tão grande que a tonelada de CO₂ emitido na atmosfera, antes negociada nas Bolsas de Ações a 3,8 dólares, passou a valer 5 dólares. E terá valorização ainda maior caso surtam efeito as pressões da indústria de petróleo e gás dos Estados Unidos para que o presidente Bush reveja sua posição e endosse o acordo.

Ao que tudo indica a tonelada de carbono deve valer muito mais nas próximas décadas. Há quem aposte que em 2020 ela estará sendo cotada a 75 dólares. A única certeza de tudo isto é a de que este caminho realmente não tem volta e, quanto antes passarmos por ele, menores serão os custos desta transformação e os efeitos da devastação ambiental sobre a economia dos países.

As nações industrializadas sabem que dificilmente cumprirão as cotas estabelecidas pelo acordo e terão de ir às corridas de créditos. É aí que países como Brasil e Índia podem levar vantagem, vendendo créditos de CO₂ a países ricos e nesse caso, cada um deles terá de ofertar cartas de créditos com validade internacional para empresas locais que demonstrem o volume de gás carbônico retirado do ambiente.

A regra para conseguir “vender” captação de gás carbônico baseia-se em: levantamento realizado por uma consultoria sobre qual a capacidade de captação de CO₂ de um projeto, demonstrando a quantidade de créditos que este irá gerar, fiscalização e aprovação por uma auditoria credenciada e, posteriormente pelo governo, que concede uma carta de crédito que poderá ser negociada pessoalmente ou em bolsa de valores, como qualquer outra commodity (REVISTA FORBES BRASIL, 2001, p.35).

O grande bloqueio que emperra este processo está na falta de uma medição padrão, mesmo estando muitos estudos em andamento.

O governo brasileiro espera definições mundiais mais concretas referente a esta questão, na tentativa de criar regras internas, não considerando essa carta de crédito como uma garantia futura de negociação. Esse cuidado todo, é com a finalidade de evitar que documentos gerados hoje percam a validade amanhã, na esperança de se tornar um grande e sério mercado, atraindo mais investidores.

Essa novidade, ou seja, compra e venda de cotas por países poluidores e países que captarão esta poluição, tem criado um excelente negócio em todo o mundo. Segundo Cançado (2001, p.35):

Os países da União Européia encabeçam a lista dos compradores onde somente a Holanda pagou até agora 32 milhões de dólares em créditos para a Polônia, Romênia e República Checa. A Holanda das terras baixas, por sua posição geográfica, tem razões de sobra para se preocupar com a redução do efeito estufa. Uma das graves consequências que ele pode trazer é o aumento do nível do mar. É evidente que o esforço isolado da Holanda será incapaz de deter esse processo, mas seu poder de convencimento sobre outros países desenvolvidos não deve ser menosprezado.

Na teoria, uma simples molécula com um átomo de carbono e dois de oxigênio, mas o que ninguém imaginava até a assinatura do Protocolo de Kyoto era de como as empresas poderiam lucrar com isso. Companhias como a Shell, a British Petroleum, a Peugeot e GM, podem gerar grandes negócios para outras empresas. Elas estão injetando milhões e até bilhões na busca por soluções mais ecologicamente corretas. Potenciais vendedores de créditos estão animados com a oportunidade, pois é o tipo de empreendimento que agrada a qualquer investidor.

3.1.1 Implementação conjunta

Consiste na possibilidade de um país financiar projetos em outros países (apenas entre países do Anexo I) como forma de cumprir seus compromissos. Conforme Artigo 6 do Protocolo, qualquer Parte pode transferir ou adquirir quotas de projetos gerados por outras dessas Partes, que serão posteriormente utilizadas pelo país investidor para adicionar à sua quota de emissões, sendo reduzidas das quotas de emissão do país beneficiado.

3.1.2 Mecanismo de desenvolvimento limpo

Este mecanismo teve origem na proposta brasileira apresentada em maio de 1997 ao Secretariado da Convenção em Bonn com o objetivo de estabelecer

elementos para a definição do Protocolo à Convenção. A proposta visava a criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo, formado por contribuições de países desenvolvidos que não cumprissem suas quotas, e que seriam utilizados para o desenvolvimento de projetos desta finalidade em países em desenvolvimento. Dessa maneira, o MDL cria um novo mercado, o “mercado das commodities ambientais” ou o “mercado de carbono”, gerando novas chances de negócios para os países em desenvolvimento, como o Brasil.

Em Kyoto esta idéia foi transformada, criando-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, o qual consiste que um país com compromissos de redução pertencente ao Anexo I, financie e gere projetos em países em desenvolvimento como forma de cumprir suas metas, criando um comércio de emissões, compensando suas necessidades de redução de emissões.

A Sexta Conferência das Partes (COP-6) da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, realizada em novembro de 2000 em Haia, na Holanda, tinha como principal objetivo regulamentar o funcionamento do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, criado em Kyoto.

Em Haia, os EUA propuseram a inclusão de “sumidouros” naturais de CO₂, ou seja, a inclusão das florestas já existentes, as plantações florestais e as atividades agrícolas no cálculo do abatimento das metas de redução de emissão de gases do efeito estufa, gerando oposições e novos impasses, na tentativa de impedir avanços em direção à regulamentação do MDL e à ratificação do protocolo.

As possibilidades e a amplitude dos efeitos do MDL sobre a base florestal mundial ainda são incertas. Há grandes variações nas tentativas de quantificar o mercado de carbono, mas países como o Brasil, que possuem vastas áreas passíveis de reflorestamento e clima favorável ao crescimento da biomassa, serão bastante beneficiados se o princípio da adicionalidade (o qual somente a implantação de novos projetos florestais permite a fixação de quantidades adicionais de carbono da atmosfera, ou seja, as florestas existentes, que naturalmente já retiram CO₂ da atmosfera, não poderiam ser contabilizadas) vier a prevalecer.

Sabendo disso, o Brasil está se antecipando à regulamentação do MDL, criando projetos de fixação de carbono em reflorestamentos passíveis de receberem o Certificado de Redução de Emissão (CRE), criando vários fundos internacionais como o Prototype Carbon Fund do Banco Mundial, que captou US\$ 150 milhões para financiar projetos específicos de “sequestro” de carbono.

Segundo Padilha (2000, p.15):

De acordo com a Gazeta Mercantil de dezembro de 2000, já existe em Minas Gerais um projeto de 10.000 hectares de florestas homogêneas, que está sendo avaliado pelo Prototype Carbon Fund, ligado ao Banco Mundial (Bird)...Exemplos como a galesa AES Berry, que investiu US\$ 1 milhão para reflorestar 60 mil hectares na Ilha do Bananal (TO) podem ser o início de uma corrida por investimentos no potencial de sequestro de carbono do Brasil, desde que seja ratificado o Tratado de Kyoto e se estabeleça o quanto de fato as florestas sequestram de CO₂.

Outros exemplos mais divulgados e citados por (De Rosa, Siqueira e Advogados Associados) são da Empresa Plantar, estabelecida em Minas Gerais, para produzir ferro gusa com carvão vegetal proveniente de florestas renováveis certificadas (CRE e FSC). A empresa plantou 23 mil hectares de eucaliptos cujos créditos foram negociados com companhias, tais como Mitsubishi, Ontário Eletric Power e Shell, ente outras.

A Peugeot investiu US\$ 12 milhões para replantar 2,5 mil hectares em projeto “sumidouro”, no Norte do Mato Grosso com espécies nativas.

A Texaco, a GM, além de outras 13 empresas, estão investindo US\$ 20 milhões no litoral do Paraná, mais propriamente em Guaraqueçaba.

3.1.3 Características do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)

Este Mecanismo tem vital importância para os países em desenvolvimento, por permitir sua participação voluntária significativa na realização do Protocolo.

Como ainda não foram regulamentados, ainda cabe às Partes a elaboração de regras para sua implantação, mas algumas características gerais já se pode atribuir:

- Implantados em países em desenvolvimento;
- Participação voluntária por cada Parte envolvida;
- Devem contribuir para a redução das emissões;
- Os benefícios devem ser reais, mensuráveis e de longo prazo;
- As reduções de emissões devem ser adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade certificada do projeto;
- Deve estar sujeito a auditoria e monitoramento;
- As reduções devem ser certificadas por entidades operacionais.

Apesar de faltar muito ainda para a implantação deste mecanismo, deve ser bastante discutido, pois há questões em aberto referente a critérios e regras para sua implantação, e dele resultará o sucesso do projeto.

3.2 Custos de Implementação do Protocolo

Um dos aspectos mais importantes e de maior peso político é o custo de reduzir as emissões dos GHGs, principalmente nos EUA. Segundo Moreira (2000, p.26):

As estimativas do custo global para fazer as reduções necessárias nos EUA variam entre 0 e 2,5 % do PIB. Alguns modelos projetam até benefícios econômicos para os EUA. A estimativa mais aceita fica entre 1 e 2 % do PIB, mas isso não significa que seja correta – todas essas estimativas dependem dos pressupostos dos modelos nos quais estão baseadas.

As principais propostas em discussão na Europa são:

- a de fixação de uma taxa ou imposto sobre o carbono;
- implementação de um sistema de licenças para emissão, leiloadas pelo governo, e com mecanismo de troca e/ou comercialização entre as empresas;

Os economistas concluem que a adoção de um sistema de implementação conjunta internacional das reduções fará com que se reduzam os custos do processo, trazendo vantagens aos países do sul através do fluxo de investimentos da transferência de quotas de redução.

Seguindo o MDL, na qual somente o adicional de carbono incorporado é que valeria para a contabilidade final do resgate de carbono, vem a proposta do reflorestamento com a espécie *Eucalyptus grandis*, na reposição florestal de áreas degradadas, autorizadas por órgãos competentes, devido a facilidade de contabilização do CO₂ incorporado, grandes possibilidades de auto-sustentabilidade em energia e baixo custo de implantação e manutenção quando comparado a implantação de floresta nativa, tornando-se um projeto economicamente viável, socialmente justo e ecologicamente correto, seguindo os princípios do FSC (Forest Stewardship Council) em Anexo B.

3.3 Forest Stewardship Council - FSC (Conselho de Manejo Florestal)

É largamente aceito que os recursos florestais e as áreas por eles ocupadas devam ser manejados de maneira a suprir as necessidades sociais, econômicas, ambientais e culturais. O aumento da conscientização da população sobre a degradação e uso irracional dos recursos disponíveis tem levado consumidores a exigir que suas compras de madeiras ou produtos oriundos dela não venham a contribuir para esta destruição, e sim, que venham a garantir os recursos florestais para as futuras gerações. Em resposta a estas exigências, criaram-se os programas de certificações.

FSC significa Conselho de Manejo Florestal e, é o resultado de uma iniciativa de conservação ambiental e desenvolvimento sustentável das florestas em termos mundiais. Surgiu na década de 1990, envolvendo ambientalistas, pesquisadores, engenheiros florestais, empresários da indústria e comércio de produtos de origem florestal, trabalhadores, comunidades indígenas e outros povos da floresta, e instituições certificadoras de 34 países.

Seu objetivo é difundir o bom manejo florestal conforme Princípios e Critérios (<<http://www.fsc.org.br>>. Acesso em: 24 mar. 2002, em Anexo B), conciliando a proteção das reservas ecológicas (do equilíbrio na biodiversidade da flora e fauna) com os benefícios sociais e a viabilidade econômica, usando os mesmos princípios e critérios para o mundo inteiro, tornando-o o selo verde mais reconhecido em todo o mundo.

O FSC é a garantia de origem, pois ele garante que a madeira utilizada num produto tem origem em uma floresta manejada de maneira ecologicamente adequada, socialmente justa, economicamente viável, e legalmente correta, certificando a floresta e não diretamente a empresa (Princípios e Critérios do FSC, mesmo site acima).

No Brasil, a iniciativa de promover o FSC data de 1994, onde é criado o FSC Brasil, que tem o aval do FSC internacional.

Para a certificação ser aprovada, o FSC segue alguns Princípios e Critérios (em Anexo B), observando e levando em conta a intensidade e o local de manejo. Estas áreas devem possuir as reservas legais de acordo com a Lei para esta região,

através da Resolução do SEMA (Cap. V, seção II, da Reserva Legal, art. 211 e 212, 1998), em Anexo C, que determina que seja mantida uma área de Reserva Legal de no mínimo 20 % do total de área da propriedade para a Região Sul, composta de floresta natural primária intacta, ou floresta secundária em estágio avançado de regeneração (com todas ou maior parte das características e funções do ecossistema florestal natural), e mais suas respectivas preservações permanentes, garantindo a biodiversidade da área.

Enfim, o FSC é o adiantamento e a preparação de um processo de exigências pelo qual as entidades credenciadas e fiscalizadoras do Protocolo de Kyoto, exigirão aos projetos destinados à finalidade de captação de CO₂.

Para que isso se torne realizável é preciso seguir um dos passos mais importantes da Engenharia Florestal, que seria a determinação precisa do crescimento e desenvolvimento da vida desta espécie estudada, *Eucalyptus grandis*, chamado de Inventário Florestal, do qual seguiram-se todos os outros resultados, ou seja, foi determinado através deste, o volume do fuste por hectare para as idades de 1 a 8 anos, baseando-se no espaçamento de 2,5 m x 2,5 m, e que, agregado a outros valores obtidos de outros trabalhos (densidade da madeira para a finalidade de energia, volume de copa e de raiz), foi possível estabelecer a capacidade de fixação de CO₂ para a espécie *E. grandis*, nesta região. Antes, procurou-se levantar algumas características da região proposta no projeto, como da espécie, clima, relevo e solo, para aí sim, o inventário propriamente dito.

4 CARACTERÍSTICAS DO GÊNERO E ESPÉCIE FLORESTAL

Tendo inicialmente 81,5 % da superfície do Estado coberto por floresta original, os dados de 1980 indicavam que esta cobertura havia sido reduzida a 3,2 milhões de hectares, ou seja, 33,6 %, contando com mais 375 mil hectares de área reflorestada no Estado, representando mais 3,94 % (EMBRAPA, 1988).

Tendo 9,5 milhões de hectares, o Estado de Santa Catarina, em 1986, divulgava existir somente 14 % de sua cobertura florestal original, tendo como áreas mais representativas de vegetação natural remanescente a Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica), devido as dificuldades de acesso e topografia acidentada. Outras vegetações lenhosas, como a Floresta Ombrófila Mista (floresta com pinheiros) e a Floresta Latifoliada do Alto Uruguai, foram altamente exploradas e ocupadas com a atividade agrícola, bem como os campos do Planalto têm sido cada vez mais transformados em áreas de culturas agrícolas.

Apesar do setor de celulose e papel depender exclusivamente da matéria prima oriunda de plantações florestais, outros segmentos consomem matéria prima proveniente, em grandes proporções, de florestas nativas, como a indústria moveleira, construção civil e setor energético.

Um levantamento realizado em 1980, sobre a situação dos recursos florestais em Santa Catarina, indicou a existência de 305 milhões de metros cúbicos de madeira, incluídas aí as florestas naturais e plantadas, sendo 122,2 milhões referentes às florestas de preservação permanente. Com um volume disponível de 182,8 milhões de metros cúbicos, não seria possível sustentar um consumo estadual anual de 18,6 milhões por um período superior a dez anos, especialmente contando com um baixo incremento volumétrico das florestas nativas (EMBRAPA, 1988).

Tentando suprir o consumo do mercado madeireiro, sem ter que sacrificar as reservas nativas, torna-se cada vez mais necessário produtos resultados de florestas plantadas.

Santa Catarina está localizada ao sul do Trópico de Capricórnio, com altitudes variando de 0 a 1.800 m. Assim, as temperaturas, especialmente as de inverno, são preponderantes na definição de Regiões Bioclimáticas para plantios florestais no Estado.

Com temperaturas médias anuais variando de 12° C nas proximidades de São Joaquim a 22° C no litoral norte, ocorrem geadas fortes em quase todo o Estado, pois aproximadamente 70 % das terras se encontram acima dos 500 m de altitude, tendo como média do mês mais frio variando de 8 a 18° C e mínima absoluta chegando a – 11,6° C (registrado em Xanxerê em 1945).

A região considerada neste trabalho (Regiões Bioclimáticas de SC (em Anexo D), refere-se a Região Bioclimática 7, localizada nas proximidades do Litoral, no Vale do Itapocu, com altitudes predominantes de 0 a 500 m, vegetação predominante de Mata Atlântica e classificada como Floresta Ombrófila Densa, com médias anuais de 17 a 22° C, mínimas de 7,5 a 12° C e máximas de 28 a 31° C, uma precipitação anual de 1.200 a 2.000 mm, sem déficit hídrico, e tendo – 4° C registrado como mínima absoluta (EMBRAPA, 1988).

No que diz respeito às colheitas, o Estado de Santa Catarina, de 1999 a 2001, vem perdendo em área plantada. A alternativa de se recuperar estas áreas, agora abandonadas, por culturas de eucaliptos, além buscar recuperar a flora e fauna anterior, diminuir a pressão nas florestas nativas restantes, visa, também, buscar uma alternativa de fonte de renda ao pequeno agricultor.

4.1 Eucalipto

Eucalyptus, L'Héritier. Gênero de plantas da família das Myrtaceas, abrangendo cerca de duzentas espécies e variedades. Com exceção de duas espécies de Timor e duas ou três do Arquipélago Indiano, os Eucaliptos são todos indígenas da Austrália, onde cobre 90 % da área do país, inclusive a Tasmânia, onde eram densas e vastas florestas, constituindo a maior parte da riqueza florestal do grande continente.

Atingem, em geral, proporções gigantescas, sendo, em algumas espécies, de porte mediano e em outras, de número muito reduzido, pequenos arbustos.

O *Eucalyptus globulus* foi descoberto em 1972, na Tasmânia, por La Billardièrre, que fazia parte da expedição francesa destinada a procurar La Pérouse.

Até meados do século passado, o eucalipto figurou apenas nas coleções de um ou outro jardim botânico da Europa, sem dar-se muita importância à sua cultura. Só

em 1852, o célebre botânico alemão Barão Ferd. Von Mueller, que fora a Austrália a procura de clima favorável ao seu organismo ameaçado pela tuberculose e a quem o governo inglês, sabiamente, confiou a direção do Jardim Botânico de Melbourne, reconheceu o valor desta essência, tornando-se então, o seu grande divulgador. Ali viveu até outubro de 1896, tendo-se consagrado, durante quase meio século, ao estudo das numerosas espécies deste importante gênero.

De 1852 a 1854, datam também os primeiros ensaios feitos na Itália, Corsega, Espanha, Portugal, França e Egito. Os eucaliptos foram introduzidos nos Estados Unidos poucos anos depois de conhecidos na França. Os primeiros ensaios datam de 1856, plantados nos arredores de São Francisco. Da Califórnia, a cultura de eucalipto estendeu-se aos Estados do Arizona, Novo México, Texas, Oregon e Flórida (ANDRADE, 1911).

Na América do Sul, talvez o Chile tenha sido o primeiro país a introduzir o eucalipto, em 1823, recebendo as sementes de um navio inglês.

No Brasil, os primeiros ensaios datam, sem exatidão, de 1868, no Rio Grande do Sul, pelo Sr. Frederico de Albuquerque e, no mesmo ano, pelo 1º tenente Pereira da Cunha, alguns exemplares na Quinta da Boa Vista, Rio de Janeiro.

No Estado do Rio de Janeiro, a primeira plantação foi feita por A. Pereira da Fonseca, em ruas e no jardim Público da cidade de Vassouras, em 1871.

Já em São Paulo, têm-se data de introdução de 1874, pelos primeiros jesuítas que vieram para o Seminário Episcopal (ANDRADE, 1911).

Até o princípio do século XX, o eucalipto foi plantado como árvore decorativa, devido seu excelente desenvolvimento e porte. Aos poucos, ele foi sendo adotado como espécie alternativa para o suprimento de madeira, mas principalmente como combustível nas formas de lenha e carvão, decorrente do escasseamento das matas nativas.

Para o inverno catarinense, que é rigoroso, constituindo um grande problema para o cultivo de eucaliptos, a escolha de material genético mais adaptado à região é fundamental, além de outras características como desenvolvimento, forma, resistência e tolerância a fatores externos.

O interesse sobre este gênero em relação ao seqüestro de carbono, tem crescido, em virtude de sua acentuada taxa de crescimento e, portanto, alta capacidade de remover o dióxido de carbono da atmosfera. Espécies do gênero

Eucalyptus possuem elevada eficiência fotossintética, ou seja, representam um grupo de espécies bastante eficientes no seqüestro de carbono.

Conforme os Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ (1994, p.30):

Para o Estado de Minas Gerais, considerou-se que a produtividade média dos plantios de eucalipto é de 22 m³/ha/ano, e para o Estado do Espírito Santo 35 m³/ha/ano, para uma idade média de rotação de oito anos. Considerando que cada 1/8 da área se encontra em idades que variam de 1 a 8 anos, apresentando idade média ponderada de 4,5 anos, o armazenamento atual de carbono na biomassa viva, com base na matéria seca, é de 24,5 t/ha na parte aérea e de 6,9 t/ha nas raízes em Minas Gerais, e de 36,4 t/ha na parte aérea e de 10,2 t/ha nas raízes no Espírito Santo. O eucalipto pode ser explorado durante três rotações consecutivas, através da regeneração das cepas. Assim sendo, ao final dessas três rotações, os plantios de eucalipto já estabelecidos no Estado de Minas Gerais estariam seqüestrando, em média, 130,5 tC/ha na parte aérea e 10,3 tC/ha nas raízes, sendo que no Estado do Espírito Santo esses valores corresponderiam a 193,1 e 15,2 tC/ha respectivamente.

Segundo levantamentos do Censo Agropecuário de 1996 (Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina – 2000/2001, Instituto CEPA/SC): “há atualmente 5,5 a 6 milhões de hectares reflorestados no Brasil, sendo o eucalipto a principal espécie florestal cultivada (62 % da área)”.

A participação do Estado de Santa Catarina em carvão vegetal somou 20 mil toneladas em 1999, com continuidade do processo de substituição das matas nativas pela matéria prima de reflorestamentos.

O Eucalipto sofreu grandes críticas de ambientalistas quanto sua introdução. Parte destas, são conseqüências de expectativas frustradas, como resultado de programas mal sucedidos de reflorestamento. Especificamente, no Brasil, as falhas ocorridas na implantação e manejo dos primeiros povoamentos contribuíram para a formação de florestas desuniformes e com baixa produtividade. Além do estresse fisiológico e abandono a que estavam submetidos, permitiu-se o desenvolvimento de pragas e doenças, além do surto de incêndios, resultando em desastres ecológicos, com grandes repercussões. Segundo a revista Eucalipto, set. 2001, o insucesso dos reflorestamentos iniciais deve-se aos seguintes fatores:

- a) inexistência de trabalhos específicos que norteassem o estabelecimento de novas florestas;
- b) planejamento inadequado do uso da terra, com a utilização inadequada de áreas, da quantidade e qualidade dos fertilizantes, manejo incorreto do solo, com a falta de uso de técnicas conservacionistas;

- c) escolha inadequada de espécies/procedências, em razão do desconhecimento das espécies, inexistência de sementes melhoradas e de programas de melhoramentos;
- d) falhas na política, legislação e, principalmente, na fiscalização, permitindo-se a evasão de recursos, a substituição total da floresta natural pela plantada e o abandono de muitas propriedades após o segundo ano de plantio;

4.1.1 Clima

Os eucaliptos prosperam numa grande diversidade de condições climáticas e suas exigências são diversas. Enquanto umas suportam perfeitamente a prolongada seca e o excessivo calor das regiões desérticas e áridas da Austrália Central e do Norte da África, outras resistem ao clima úmido e frio da Escócia. O *Eucalyptus viminalis*, suportou, na Itália, 9 a 10° C abaixo de zero e na Escócia, 11 a 12° C; o *E. terminalis*, na Austrália Central, vegeta onde a temperatura, à sombra, varia de 2,7° a 50° C.

Muitas outras espécies podem suportar 55° C à sombra e 73° C ao sol, podendo citar-se entre elas o *E. corynocalyx*, *bicolor*, *salubris*, *microtheca*, etc.

Quanto a altitude, o eucalipto pode ser cultivado desde a beira mar até altitudes consideráveis, havendo culturas de *E. globulus* em localidades da África Portuguesa a 1.400 metros acima do nível do mar.

4.1.2 Solo

Quanto à natureza do solo, o eucalipto não parece ser nem tão exigente como asseveram alguns autores, nem tão indiferente como outros dizem. Como prova, recorrem estes últimos ao exemplo de plantações em terrenos arenosos, áridos, onde o eucalipto prospera, atingindo dimensões consideráveis. Mas isso não indica que prefira terras boas; se ele se desenvolve em terrenos pobres é porque é dotado de temperamento e resiste num meio onde outras essências morreriam de inanição.

Pode se dizer, de um modo geral, que o eucalipto desenvolve-se bem em terrenos profundos e permeáveis, devendo evitar-se a sua cultura em solos pouco fundos, que assentem sobre rochas, ou de subsolo impermeável.

A maior parte das espécies desenvolvem-se bem em solos arenosos e mais de uma dezena é para esse fim, especialmente, aconselhada. No Rio Grande do Sul, há lindos exemplares de *E. globulus* em areia pura, finíssima, onde outras culturas têm sido largamente ensaiadas. Isso poderá explicar-se pela natureza do subsolo, provavelmente de constituição diferente (ANDRADE, 1911).

Inúmeros cultivadores apresentam como impróprios para o eucalipto os terrenos salgadiços da beira mar. Em Santos, na praia do José Menino, vêem-se muitos eucaliptos viçosos e bem desenvolvidos, a pequena distância do mar, onde o *E. robusta*, indicado pelo Barão Ferd. Von Mueller, vem a ser uma espécie indicada para terrenos salgadiços.

De tudo isso, o que se conclui é que é preciso conhecer as exigências naturais de cada espécie e cultivá-las nos meios mais apropriados.

A influência benéfica sobre a natureza dos climas não é propriedade exclusiva dos eucaliptos, pois toda a espécie de arborização tem esta ação mais ou menos desenvolvida. Nos eucaliptos, ela adquire uma intensidade mais elevada, não só pela grande rapidez de crescimento, mas também pela atividade de suas funções e, principalmente, pela possibilidade de se poder plantar em lugares pantanosos.

Como o eucalipto desenvolve-se bem em terrenos úmidos, estes podem ser melhorados, devido ao alto poder de absorção pelas raízes e evaporação pelas folhas, fora o fato de terem folhagem pouco densa, não impedindo a passagem dos raios solares, ajudando mais ainda na evaporação da água estagnada no solo. A própria silvicultura aconselha uma distância maior entre indivíduos (mudas) plantados em terrenos úmidos.

No Brasil, ao contrário, a época de plena vegetação do eucalipto coincide com a estação chuvosa, que lhe fornece água até em excesso, poupando-lhe o trabalho de afundar suas raízes, diminuindo muito a evaporação pelas folhas, devido a quantidade de umidade existente na atmosfera.

4.1.3 Plantio definitivo

O plantio definitivo de eucaliptos pode e deve fazer-se quando as mudas alcançam de 25 a 50 cm de altura. Quando menores, por serem pouco resistentes e necessitarem de muitos cuidados, perdem-se muitas plantas.

A melhor época para o plantio definitivo, em Santa Catarina, é a estação das águas, ou melhor, de outubro a março, com exceção dos terrenos alagadiços, que já têm água em excesso. Embora muitas espécies sejam altamente resistentes às secas, perdem sua natural precocidade, ficando mais propícias à doenças e pragas.

Ao plantar em áreas críticas, recomenda-se adotar algumas medidas silviculturais complementares, para que áreas novas não sejam afetadas por geadas, como realizar o mais cedo possível e de preferência até dezembro, preparar o solo, fazer adubações e tratos silviculturais adequados, afim de favorecer o crescimento inicial e reduzir a susceptibilidade às geadas.

Além disso, quando plantadas tarde, as mudas ainda estão pouco adaptadas ao novo meio e, quando adubadas, pode diminuir a resistência das plantas fazendo com que suportem menos ou nada das possíveis geadas das estações frias.

É sempre preferível realizar o plantio em dias chuvosos, ou, pelo menos, encobertos. A chuva auxilia muito o serviço de plantio, não só pelo umedecimento do solo, mas também por ajudar a aconchegar melhor a planta às raízes. Pode-se, porém, plantar em dias claros, mesmo sob sol forte, desde que as mudas tenham tido suas raízes cobertas por substrato bem umedecido. Esta é uma prática bastante comum em empresas que possuem grandes explorações, não podendo apenas contar com dias chuvosos.

Em terrenos excessivamente secos, ou nos demasiadamente úmidos, não convém deixar o cólo das plantas ao nível do solo. Para solos secos, o ideal é que o substrato com as raízes e o cólo fiquem uns 10 cm abaixo do nível da superfície do terreno, formando, assim, uma concha ou bacia para receber e prender melhor as águas pluviais. Já para solos úmidos, é aconselhável realizar o plantio em montículos (amontoando terra em volta do caule da planta), afim de evitar o excesso de água para elas.

O número de plantas, numa determinada superfície submetida a cultura florestal, pode variar bastante, conforme a distância adotada de plantio entre elas. Essa

distância é em função da essência, dimensões das plantas, intensidade de crescimento, idade do povoamento, clima, solo, exposição à luz, modo de exploração, fins de aproveitamento, capital disponível, etc.

Logo nos primeiros anos, após o plantio definitivo, há a necessidade da realização de tratos silviculturais constantes no povoamento, devido o eucalipto ser uma cultura muito delicada. É fundamental manter o plantio sempre limpo de mato e outras plantas concorrentes, através de duas a três roçadas e duas a três coroas de manutenção (retirada da matocompetição ao redor da muda) no primeiro ano evitando assim, a matocompetição, além de geralmente 2 adubações como correção nutricional para o plantio.

No segundo ano, normalmente duas roçadas são suficientes para manter o eucalipto livre de competição. No terceiro e quarto, uma única manutenção é o ideal. Daí por diante, dependendo do espaçamento utilizado, ocorre o sombreamento do subbosque pelas copas dos eucaliptos, dificultando o desenvolvimento de plantas concorrentes, permitindo a cobertura do solo por uma vegetação rasteira, não prejudicial ao povoamento, servindo como futura fonte de matéria orgânica ao solo, após sua decomposição natural.

O eucalipto, como um gênero de inúmeras espécies, não deve ser julgado indiscriminadamente como um vilão da natureza. Cabem ao empresário florestal o discernimento e o bom senso na escolha das espécies corretas, na adoção de técnicas ideais para sua implantação, manejo e colheita, tendo o mesmo respeito aos componentes naturais que garantem a sustentabilidade da produtividade florestal. Respeitando sempre as regras mínimas de convivência com a natureza, o homem será capaz de obter lucros e garantir a sobrevivência das futuras gerações.

4.2 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

Como principal área de sua ocorrência natural, está situado ao norte de Nova Gales do Sul e ao sul de Queensland, entre as latitudes 25° e 33° S. Ocorre ainda, no centro (21°) e no norte (16° a 19° S) de Queensland. As altitudes variam desde próximas ao nível do mar até 600 m, na principal área de ocorrência, e entre 500 e

1000m nas áreas ao norte. O clima varia de subtropical úmido (área sul) a tropical úmido ao norte (EMBRAPA, 1988).

A temperatura média máxima do mês mais quente em sua área de ocorrência, está entre 24° e 30° C , com uma temperatura média das mínimas do mês mais frio entre 3° e 8° C. Já para as áreas ao norte, seus valores correspondentes são 29° a 32° C e 10° a 17° C. As áreas costeiras geralmente são livres de geadas, enquanto nos locais de maior altitude, podem ocorrer geadas ocasionais. A precipitação média anual está entre 1.000 e 3.500 mm, com maior concentração no verão, principalmente no centro e no norte de Queensland. A estação não ultrapassa três meses.

Esta espécie ocorre em planícies ou nas partes baixas dos vales férteis, nas margens das florestas pluviais tropicais e, ocasionalmente dentro delas, preferindo solos úmidos, bem drenados, profundos, de textura média, de origem vulcânica ou aluviais.

Ao ser plantado nos locais apropriados, o *E. grandis* é capaz de superar outros eucaliptos em forma do tronco, desenvolvimento e desrama natural. No início do crescimento, sua copa é densa, dificultando o desenvolvimento de plantas invasoras do subbosque. A espécie floresce e produz sementes com facilidade após quatro a cinco anos. Na África do Sul, o *E. grandis* é utilizado para a produção de mel.

A madeira desta espécie é intensamente utilizada para vários fins (tabela 6, pg. 45 do livro Zoneamento Ecológico para Plantios Florestais no Estado de Santa Catarina (EMBRAPA,1988). Quando produzida em ciclos curtos, ela apresenta, ao ser desdobrada, problemas de empenamento, contração e rachadura. No entanto, plantios devidamente manejados podem produzir madeira adequada para serraria e laminação. O *E. grandis* é a principal fonte de matéria prima para a celulose e papel no Estado de São Paulo.

O *E. grandis* tem um bom desenvolvimento em vários tipos de solos, sendo essencial solos profundos e bem drenados. É uma espécie pouco exigente, podendo ser plantada em solos argilosos e arenosos, desde que os solos argilosos sejam bem friáveis e que nos arenosos não haja deficiência hídrica por muito tempo.

Se houver déficit hídrico por dois a três meses consecutivos, antes ou após a colheita, pode ocorrer redução na capacidade de brotação das cepas. Esse problema pode ser minimizado se o corte for concentrado no período de plena atividade vegetativa, na primavera. Se a inserção de corte for feita a uma altura mais

elevada, pode fazer com que melhore sua capacidade de brotação, por aumentar o número de gemas ativas.

Na África do Sul, o *E. grandis* é recomendado para locais com temperatura média anual superior a 16° C e do mês mais frio superior a 11° C. Quanto à altitude, a experiência sulafricana indica que o limite superior de 1.200 m deve ser observado na latitude de 27°; é sugerido que o limite altitudinal aumente 50 m a cada decréscimo de 1° de latitude, ou vice versa. Como a espécie é sensível à geadas, deve ser plantada em situações topográficas favoráveis, quando os talhões situam-se em altitudes elevadas (EMBRAPA, 1988).

Já a experiência brasileira tem levado a recomendar o plantio desta espécie em condições mais quentes, com temperaturas médias anual e do mês mais frio superiores a 18° e 13° C, respectivamente.

Nas Regiões Bioclimáticas, o *E. grandis* pode ser plantado comercialmente, com cuidados em relação às geadas, nas Regiões 2, 7 e 9 (EMBRAPA, 1988), em Anexo D.

4.3 Área de Estudo

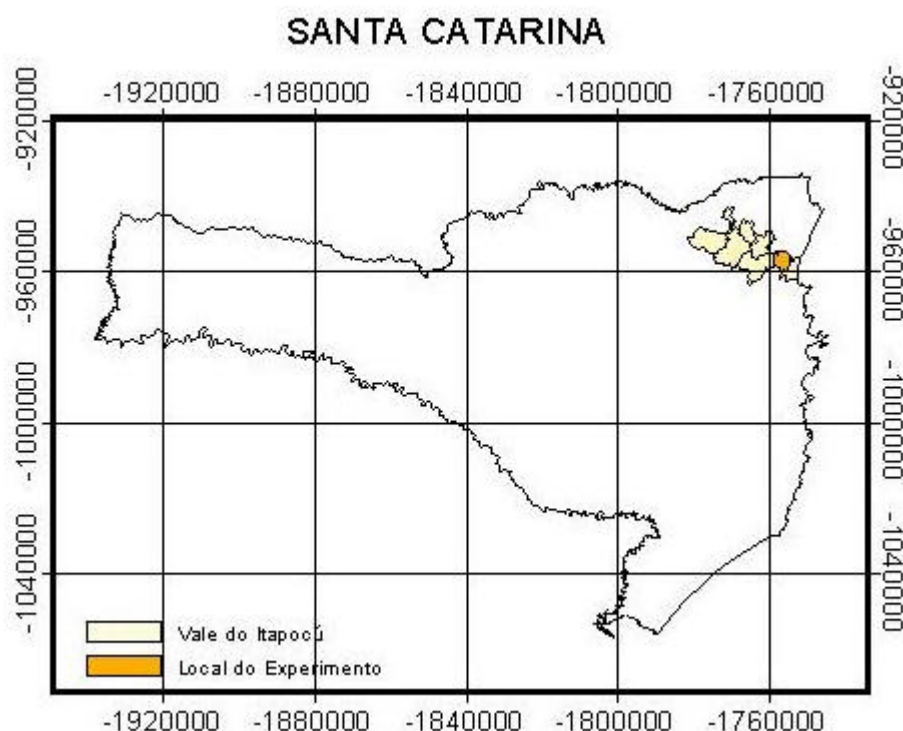


FIGURA 8: Local do experimento.

4.3.1 Vale do Itapocu

O Vale do Itapocu está situado na região norte do Estado de Santa Catarina, o qual é formado por 7 cidades, sendo, Barra Velha, São João do Itaperiú, Corupá, Guaramirim, Jaraguá do Sul, Massaranduba e Schroeder. Contando com uma área total de 2.025,20 km² e com uma população total de 186.046 habitantes, dos quais 25.842 são de população rural, segundo Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina – 2000/2001, Instituto CEPA/SC, possui como principais fontes de renda a agricultura (bananicultura e a rizicultura) e a pecuária.

Está localizado na Região Bioclimática 7, e é um excelente local para a formação de reflorestamento de *E. grandis*, devido sua posição geográfica, clima e demais características já expressas neste trabalho, as quais são exatamente as condições requeridas pela espécie (EMBRAPA, 1988).

Abaixo, segue a proposta às empresas poluentes, dos locais mais indicados para o desenvolvimento do projeto de captação de CO₂, com a reposição florestal da espécie *Eucalyptus grandis* na recuperação de áreas degradadas, mantendo o ponto de captação próximo ao ponto de emissão, reduzindo as chances de possíveis problemas ambientais locais que seus processos de industrialização possam trazer a região, como por exemplo, uma inversão térmica.

Tabela 4: Locais com suas características propostas
à implantação do projeto de captação de CO₂.

Município / características	Área (km²)	População Total (habit.)	População Rural (habit.)	Solo predominante
São João do Itaperiú	151,10	3.161	1.708	Pdzolico + latossolo
Barra Velha	142,20	15.528	965	Pdzolico + latossolo
Corupá	407,20	11.835	3.121	Pdzolico + latossolo
Guaramirim	242,70	23.787	4.782	Pdzolico + latossolo
Jaraguá do Sul	539,00	108.377	12.164	Pdzolico + latossolo
Massaranduba	393,80	12.545	7.914	Pdzolico + latossolo
Schroeder	149,20	10.813	1.410	Pdzolico + latossolo

Fonte: Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina – 2000/2001, Instituto CEPA/SC, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura, Florianópolis, 2001, pgs. 185 a 197.

4.3.2 Características edáficas da região

Há três tipos de superfícies geológicas associadas aos solos de Santa Catarina: derrame basáltico do Trapp, sedimentar e pré cambriano (em Anexo F).

De acordo com a classificação da Região Bioclimática 7, ela compreende o litoral e áreas com altitudes médias inferiores a 400 m. Nela ocorrem materiais relacionados ao Pré cambriano, aos sedimentos do Carbonífero e do Permiano e aos depósitos marinho e fluviais recentes (EMBRAPA, 1988).

No Pré cambriano, predominam os Podzólicos Vermelho Amarelos, argilosos, profundos e bem drenados, com seqüência de horizontes A, B e C, derivados de migmatito, granito e gnaise. Estes solos, geralmente, apresentam nítida diferença de textura do horizonte A para o B, em consequência do acúmulo de argila no horizonte B. Nos derivados de granito, normalmente o horizonte superficial é de textura média e o subsuperficial de textura argilosa, porém ambos com muita areia grossa e cascalho. Já os derivados de migmatito apresentam menor diferença na textura entre A e B; eles são uniformemente argilosos e sem cascalho, e grande parte deles é intermediária entre o Podzólico Vermelho Amarelo e o Latossolo Vermelho Amarelo.

Já em terrenos montanhosos e fortemente ondulados, muitas vezes excedendo os 400 m, há ocorrência de Cambissolos argilosos, mais rasos. Estes solos, tanto como os Podzólicos são aptos à silvicultura, estando limitados ao relevo ou a presença de “boulders”.

Entre Campo Alegre e Garuva e entre Paulo Lopes e José Bonifácio, afloramentos rochosos e os Solos Litossólicos ocupam os relevos vigorosos dos maciços montanhosos, constituindo áreas de preservação da flora e fauna.

Em todo litoral, predominantemente nas partes mais baixas, inferiores a 10 m, temos solos arenosos, principalmente Podzóis, Areias Quartzozas e dunas, além de solos Hidromórficos Gleizados, Cambissolos e solos de mangue.

Os podzóis possuem características altamente arenosas, chegando a possuir até mais de 95 % de areia em relevos praticamente planos, juntamente com vegetação de restinga. Os solos melhor drenados, junto com algumas areias Podzolizadas, de maior teor de argila, podem ser usados com espécies florestais adaptadas a esses ambientes, extremamente arenosos. Temos também, as areias quartzozas, com 6 a

10 % de argila, capaz de suportar algum tipo de reflorestamento, como pinus e vários eucaliptos.

Já os Solos Hidromórficos, geralmente associados a Cambissolos derivados de sedimentos aluviais, ocorrem ao longo de alguns rios, podendo ser ocupados por maricá ou, após drenagem, com pinus e eucaliptos. Os Cambissolos, melhor drenados, ocorrem em relevo praticamente plano e a maioria é bastante fértil.

Esta Região Bioclimática abrange muitos reflorestamentos de pinus (em menor número) e eucaliptos, os quais são destinados, na grande maioria, à energia, com muitas empresas investindo em propriedades agrícolas para esse fim.

5 EXPERIMENTOS REALIZADOS

Foi realizado um inventário florestal na região do Vale do Itapocu, com o levantamento de dados de 5 unidades amostrais de cada idade (3,5 e 4,5 anos com espaçamento de 2,5 m x 2,5 m entre árvores) coletadas em campo, com 400 m² (20m x 20 m) cada unidade amostral, totalizando 16.000 árvores amostradas, de onde foram obtidas as informações necessárias para a determinação do resultado do experimento. Depois de introduzir os dados no programa de inventário florestal Silvisys, obtêm-se informações precisas para a determinação da capacidade, por unidade de área do experimento, de captação de CO₂, como o volume/ha/idade dos fustes de cada área.

Para as demais idades (até os oito anos como rotação final), os volumes por hectare foram obtidos por regressão logarítmica com equação do 2º grau através do programa de computação Excel.

Para a determinação do volume de copa, baseou-se na média dos dados obtidos por Reis *et al.* e Moraes (*apud* Anais do Seminário - Emissão e Seqüestro de CO₂ – Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, p.182), determinado pela fórmula de obtenção do carbono na parte aérea.

Para a determinação do volume de raiz, baseou-se na média dos dados obtidos em dois sítios por Reis *et al.* (1985), de mesma citação acima.

O mesmo procedimento foi tomado para a determinação da densidade da madeira, tomando por base o destino e idade do reflorestamento, já que o destino principal é energia e a idade final de 8 anos, de mesma citação acima.

Com isso, é determinado o número de árvores necessárias para captar uma tonelada de CO₂ para estas idades, estes espaçamentos e por ano.

A partir deste dado, e com base na composição química de cada combustível possível de ser utilizado por estas empresas nos seus processos produtivos, é criado o novo modelo, que indicará a quantidade de árvores necessárias para a compensação de CO₂ do seu processo, tendo que inserir, no modelo proposto, apenas o tipo e a quantidade de calorías utilizadas no período (ano) e a idade do reflorestamento de eucalipto.

5.1 Inventário Florestal

Já é de conhecimento de pessoas ligadas à área florestal a grande importância desempenhada por este inventário, cuja utilização em empreendimentos florestais se torna imprescindível, pois é através do mesmo que são obtidas informações referentes a um determinado povoamento florestal. Ele é a base para qualquer obtenção de dados sobre o desenvolvimento de uma floresta.

Sem dúvida, a exploração inadequada de uma floresta gera danos e até destruição de outros recursos e cultivos, como consequência do desequilíbrio dos ecossistemas e predisposição à ação de inimigos naturais. É a origem de uma série de catástrofes.

Já por outro ângulo, a produtividade nacional depende do desenvolvimento industrial, que necessitam de matérias primas e energia, e onde entra a necessidade de produtos florestais.

Todos esses fatores exigem uma correta administração dos recursos florestais, o que é impossível sem as contínuas informações obtidas por inventários florestais.

Planejar e administrar de maneira correta e eficiente uma produção florestal é muito difícil. Fica quase impossível de se utilizar ou atualizar dados que mostrem o potencial, demandas, necessidades e até mesmo oportunidades de uma floresta sem um inventário florestal.

Segundo Brena (1991, p.185):

Inventário florestal é a parte da ciência florestal que trata da avaliação quantitativa e qualitativa dos recursos florestais de uma determinada área, visando a elaboração de planos de manejo e administração florestal, bem como analisar os valores ambientais, conservacionistas, recreativos, técnicos e científicos presentes.

Para Brena (1991, p.09), além das aplicações diretas, as informações de um inventário florestal podem ser utilizadas como base para questões de integração político e sócio econômicas, como:

- a) Formulação de políticas florestais nacionais, regionais e até locais, regulando ou corrigindo desequilíbrios existentes;
- b) Elaboração de planos de manejo florestal;
- c) Como base para viabilidade de instalação de novas indústrias;
- d) Levantamento e avaliação de danos causados por pragas, doenças, incêndios, etc;
- e) Para programas de pesquisa que incrementem a relação floresta-sociedade.

Essas informações, neste trabalho, servirão para descrever a quantificação do desenvolvimento das árvores servindo como base para a elaboração do projeto de captação de CO₂.

As atividades de inventário foram realizadas nos municípios de São João do Itaperiú e Barra Velha, Santa Catarina, em áreas de reflorestamento da empresa COMFLORESTA Cia. Catarinense de Empreendimentos Florestais, empresa de reflorestamento da região, detentora de povoamentos com enorme qualidade e manejos corretos, destinados basicamente à energia.

5.1.1 Metodologia de aplicação

O tipo de amostragem utilizada neste inventário florestal foi a aleatória simples, nas quais as 5 unidades amostrais, de cada idade, foram instaladas ao acaso dentro dos reflorestamentos (mapa contendo a localização das mesmas em Anexo G), diferenciando apenas pelas idades, mas buscando amostrar parcelas representativas da população.

A forma das unidades amostrais (parcelas) utilizadas foi a quadrada, para procurar abranger as menores influências externas possíveis da população de maneira geral, com parcelas de dimensões de 20 m de largura x 20 m de comprimento (400 m²).

Para a montagem das parcelas, utilizou-se uma trena de medição com as medidas 2,5 m x 2,5 m x 3,54 m, formando um triângulo retângulo, para a obtenção do ângulo de 90°, facilitando e tornando seguro a mensuração das árvores que faziam parte das unidades amostrais.

Foram obtidos todos os CAPs (a 1,30 m de altura da árvore) com a utilização de uma fita métrica e alturas totais das árvores de cada parcela com a utilização de um aparelho de medição de altura de árvores (Hipsômetro de Suunto e uma trena métrica com 10 m), para as idades de 3,5 e 4,5 anos. Esses dados são fundamentais para o acompanhamento do crescimento anual de uma árvore.

Os dados de cada árvore foram passados, no campo, para uma ficha de inventário, que é uma ficha modelo para anotar os dados de campo como altura, CAP, data de medição, local e número da amostra, tipo de amostra, tamanho da

amostra, característica da árvore, e depois passados para um computador, num programa de inventário florestal denominado Silvisys (cópia em Anexo H), já na empresa. Este programa contém todas as fórmulas e equações existentes e criadas para um inventário florestal, tornando o processo de cálculo mais fácil e rápido e ainda oferece todos os resultados desejados na forma de relatórios, trabalhando com qualquer limite de erro, que neste trabalho ficou entre 5 a 6 % para o inventário, conforme resultados em Anexo G.

5.1.2 Materiais utilizados no inventário

Os materiais utilizados para a instalação e medição das parcelas nos projetos estão abaixo relacionados:

- Prancheta e lapiseira;
- Ficha de medição de inventário;
- Fita métrica para leitura de CAP;
- Trena para medição de distância (10 m), para obter a distância ideal para a utilização do aparelho de medição de altura de árvore e instalação das unidades amostrais;
- Hipsômetro de Suunto (aparelho de medição de altura);
- Facão para a marcação das unidades amostrais (parcelas);
- Balizas, de madeira, para o auxílio na instalação das unidades amostrais;
- Programa Silvisys.

Com a realização deste inventário florestal, foi possível obter na prática o volume de madeira/ha/ano dos fustes destes reflorestamentos com estas idades.

Com isso, após obter o volume de cada área e outros parâmetros, torna-se possível o cálculo de absorção de CO₂ para uma árvore ou um povoamento.

5.2 Quantificação de Absorção de CO₂

Conforme os Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ (1994, p.180):

O Brasil possui em torno de 6,5 milhões de hectares de florestas plantadas, principalmente com espécies do gênero *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.*.... Para o cálculo do carbono seqüestrado pelas florestas plantadas, foi considerada a produtividade média de 22 m³/ha/ano para o Estado de Minas Gerais e de 35 m³/ha/ano para o Estado do Espírito Santo. Considerando que a maior parte dos reflorestamentos são destinados à produção de carvão para a siderurgia..., foi considerada a densidade média da madeira seca correspondente a 430 kg/m³ (0,43 t/m³) para o cálculo da biomassa de madeira de eucalipto.

A maioria desses reflorestamentos foram estabelecidos até 1980, com material genético e métodos de manejo inadequados e, conseqüentemente, com produtividade muito baixa. Só a partir de 1980 é que houve um incremento nos trabalhos na área de melhoramento e técnicas de implantação e manejo dos povoamentos, gerando um significativo aumento de produtividade dos povoamentos. Levando em conta a evolução tecnológica ocorrida na última década, os ganhos em captação de CO₂ para uma próxima rotação de eucalipto serão altamente significativos.

5.2.1 Cálculo do estoque de CO₂ fixado por área

No caso específico desta pesquisa, foi trabalhado com plantio de floresta homogênea (*E. grandis*), onde o problema é mais simples, pois as áreas são conhecidas e os plantios dentro de uma determinada área geralmente têm a mesma idade, além de serem bastante homogêneos em suas características.

Essas florestas têm sido estabelecidas com elevada tecnologia, visando a obtenção de produtividade bastante elevadas e, no caso de eucaliptos nesta região, tem-se estabelecido rotações de oito anos, quando a floresta ainda está em pleno crescimento vegetativo, apresentando elevada eficiência fotossintética, mesmo com área foliar relativamente baixa em relação à produção de biomassa, se mostrando muito eficiente no seqüestro de carbono, atingindo nessa região uma média de 40,21 m³/ha/ano de matéria viva, somente para o fuste.

Para fins desta pesquisa procurou-se trabalhar com os ecossistemas separadamente, dividindo-o em 2 compartimentos, biomassa viva acima do solo (composto pelo tronco, galhos e folhas vivas) e biomassa viva abaixo do solo (composto por raízes vivas), buscando-se determinar o que o reflorestamento, exclusivamente, é capaz de captar, dentro da rotação de oito anos, deixando de lado 2 outros compartimentos que seriam a biomassa morta acima do solo (manta orgânica), constituída pela liteira, folhas e outros, e a biomassa morta abaixo do solo, constituída pelo carbono orgânico do solo e raízes mortas. Assim, temos, como mostra a figura 9.

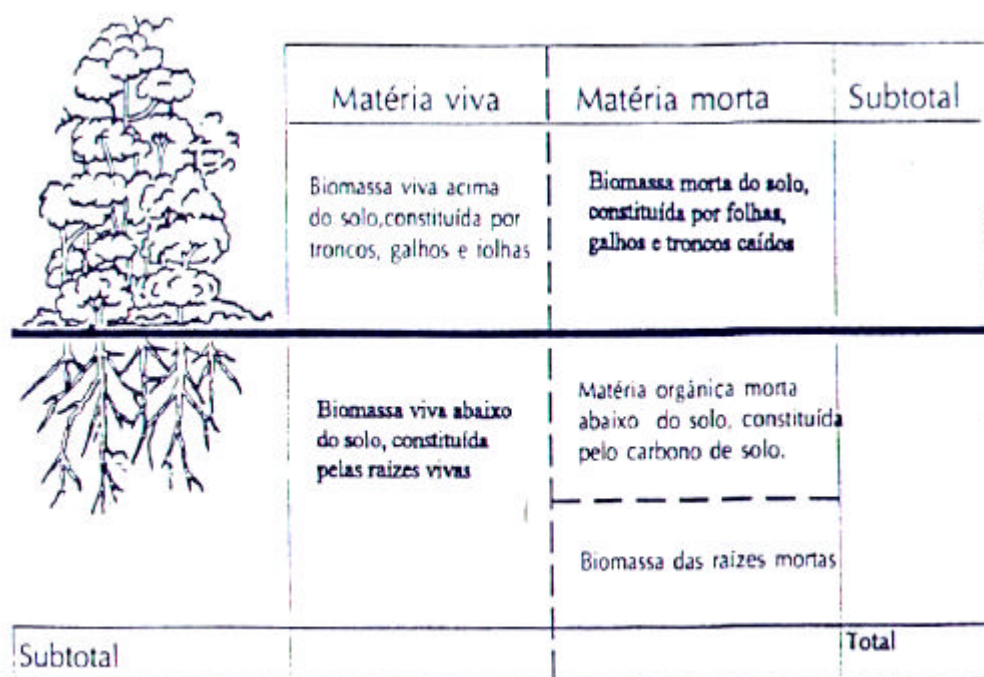


FIGURA 9: Para um estudo de carbono em um sistema florestal, divide-se o ecossistema em compartimentos, como o indicado acima. Os resultados são expressos em t/ha de matéria seca.

Fonte: Companhia Vale do Rio Doce no livro Anais do Seminário – Emissão x Sequestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, pg. 21, Rio de Janeiro, 1994.

5.2.2 Medidas da biomassa viva

Segundo os Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ (1994, p.22 e 23): “A biomassa de um sistema florestal pode ser medida de forma direta ou estimada por processos indiretos”.

Medidas Diretas – O processo é utilizado para pequenas áreas de 0,2 a 1 hectare, e serve para a “calibragem” das equações utilizadas nas estimativas indiretas, além de permitir o conhecimento detalhado da biomassa nos diferentes compartimentos da floresta.

De forma simplificada, essa metodologia implica no corte de parte das árvores da floresta, medindo-se a massa destas. Através de amostragens determina-se a umidade e estima-se a biomassa seca total. A matéria morta acima do solo é estimada através de amostragens em diversos locais. O sistema radicular é medido arrancando-se o material do solo por amostragens em áreas determinadas. O material orgânico do solo é medido através de amostras do solo até uma certa profundidade, geralmente 1 metro.

Medidas Indiretas - São utilizadas para se estimar a biomassa de grandes áreas florestais. Dependendo das informações disponíveis, são usadas relações empíricas entre a biomassa e outros parâmetros, determinando-se assim o valor da biomassa seca por hectare, para então ser feita uma extrapolação para a área total do ecossistema considerado.

Os parâmetros normalmente disponíveis obtidos nos inventários florestais são: os diâmetros das árvores medidos à altura do peito (DAP), a altura total das árvores e os volumes comerciais de madeira (volume dos troncos até o primeiro galho).

Para as florestas plantadas homogêneas, os dados existentes indicam uma grande variabilidade, dependendo das condições do meio físico e das técnicas de plantio e manejo empregadas.

Os dados são obtidos em amostras coletadas nas áreas de amostragem, que são alocadas dependendo da metodologia utilizada.

Diferentes tipos de florestas guardam diferentes quantidades de carbono dentro de sua biomassa, além de haver uma variação muito grande dentro do mesmo tipo de floresta.

Nos últimos tempos, no Brasil, foram realizados muitos estudos de biomassa de florestas plantadas, principalmente do gênero eucalipto. Há uma revisão ampla sobre a distribuição de biomassa em povoamentos de eucalipto, mas poucos estudos referentes ao sistema radicular. A inclusão de informações sobre as raízes é primordial porque esses povoamentos são manejados por brotação, ou seja, as raízes grossas permanecem até a última rotação, o que representa um grande ganho no armazenamento do carbono por manter as raízes da rotação anterior. Devido a grande dificuldade de avaliação da biomassa do sistema radicular, ela tem sido estimada com base em dados de outros trabalhos, o que pode gerar grandes erros em razão da variabilidade em função da espécie, procedência, sítio e método de manejo.

Westman e Rogers (*apud* os Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂, 1994, p. 167 e 168) concluíram que as raízes com diâmetro superior a 5 cm, em povoamentos nativos de *E. signata*/*E. umbra*, constituíam 43,5 % da biomassa total. Essa proporção de biomassa na raiz depende do sítio. Conforme observado em dados apresentados por Reis *et al.* (1985), de *E. grandis*, plantado em Bom Despacho (MG), considerado sítio de boa qualidade na região de cerrado, apresentou 13 % da biomassa total do fuste alocada no sistema radicular, na idade de 73 meses; enquanto em Carbonita (MG), sítio de pior qualidade, essa proporção foi de 32 %, aos 67 meses. A alocação de biomassa para a raiz varia também com a espécie e o espaçamento, conforme observado por Reis *et al.* (1993). Sendo assim, é importante que se tenha informações detalhadas sobre a biomassa em função da espécie, do sítio e dos métodos de manejo do povoamento, para a parte aérea e o sistema radicular. A deficiência desse tipo de informação dificulta a determinação precisa do balanço do carbono em um ecossistema florestal.

Através do Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, Rio de Janeiro, p. 182, 1994, a percentagem de carbono alocada para a copa foi calculada utilizando a média dos dados obtidos por Reis *et al.* (1985) e Moraes (1988), o que correspondeu ao valor de 13 %, enquanto que para as raízes foi utilizada a média dos dados para os dois sítios (Estados de Minas Gerais e Espírito Santo), nos povoamentos mais velhos de *Eucalyptus grandis*, conforme dados obtidos por Reis *et al.* (1985), o que correspondeu a 22 % do valor do carbono total da parte aérea, considerando uma rotação de oito anos para esses dois Estados.

5.2.3 Fórmulas utilizadas

A quantificação do carbono existente num ecossistema florestal é um problema de simples solução na teoria, pois as expressões que determinam seu cálculo são bastante simples (Anais do Seminário – Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, Rio de Janeiro, ps. 189 e 190, 1994) e os dados obtidos através dos levantamentos de campo:

1. CÁLCULO GERAL DO TOTAL DE CO₂ ABORVIDO POR UM ECOSSISTEMA FLORESTAL:

$Q = A \times q$ onde,

A – a área da região considerada e,

q – o estoque de carbono por unidade de área.

Se a região de trabalho for formada por diversos ecossistemas, como paisagens botânicas diferentes, temos:

$Q = A_1 \times q_1 + A_2 \times q_2 + \dots$ onde,

A₁, A₂, ... representam as áreas dos ecossistemas considerados e

q₁, q₂, ... representam os estoques de carbono por unidade de área.

2. CÁLCULO DE CARBONO NA BIOMASSA VEGETAL (SECA), NO TRONCO, COM BASE EM HECTARE:

$C_{TR} = (V / F_1) \times D \times F_2$, onde:

C_{TR} = carbono no tronco (em t/ha/ano ou t/ha);

V = volume de madeira (em st/ha/ano ou st/ha);

D = densidade da madeira seca (em t/m³), que neste trabalho será de 0,43 t/m³;

F₁ = fator de empilhamento (para conversão de st em m³);

F₂ = fator de correção para carbono = 0,5 (% de carbono encontrada na madeira da espécie estudada, determinada através de análise química. Este valor pode variar entre 0,2 e 0,8);

(V / F₁) = volume em m³.

3. CÁLCULO DE CARBONO DA PARTE AÉREA VEGETAL (SECA) COM BASE EM HECTARE:

$C_{TC} = C_{TR} / (1 - pc)$, onde:

C_{TC} = carbono da parte aérea (tronco + copa), (em t/ha/ano ou t/ha);

C_{TR} = carbono no tronco (em t/ha/ano ou t/ha);

pc = percentual de carbono na copa, que neste trabalho será de 13 %.

4. CÁLCULO DE CARBONO TOTAL NA BIOMASSA VEGETAL (SECA), PARTE AÉREA E RAÍZ, COM BASE EM HECTARE:

$C_{TO} = (C_{TR} / (1 - pc)) / (1 - pr)$, onde:

C_{TO} = carbono total (parte aérea + raízes), (em t/ha/ano ou t/ha);

C_{TR} = carbono no tronco (em t/ha/ano ou t/ha);

pc = percentual de carbono na copa (13 %);

pr = percentual de carbono na raiz, que neste trabalho será de 22 %.

5. CÁLCULO DO ARMAZENAMENTO ATUAL DE CARBONO QUANDO SE TEM UMA SEQUÊNCIA DE IDADE:

$C_{ARM} = C_{TO} \times Ip \times S$, onde:

C_{ARM} = armazenamento atual de carbono (em t);

C_{TO} = carbono total (parte aérea + raízes), (em t/ha/ano ou t/ha);

Ip = idade média ponderada (anos);

S = área total com florestas (ha).

6. CÁLCULO DO SEQÜESTRO POTENCIAL DE CARBONO TOTAL NA IDADE DE ROTAÇÃO:

$C_{SP} = C_{TO} \times I \times S$, onde:

C_{SP} = seqüestro potencial máximo de carbono (t);

C_{TO} = carbono total (parte aérea + raízes), (em t/ha/ano ou t/ha);

I = idade de rotação;

S = área total com florestas (ha).

5.3 Resultados dos Experimentos

Através dos resultados obtidos de volume verde do tronco, pelo inventário florestal (em Anexo G), temos:

a) Medidas gerais para as parcelas com idade medida de 3,5 anos:

- Diâmetro Médio (cm) = 11,7
- Altura Média (m) = 12,4
- Número médio de árvores/ha = 1435
- Volume médio com casca (m³) = 113,5
- Ocorrência de Falhas (%) = 10,3
- Limite de Erro (%) = 5,57
- Número de amostras = 5
- Intervalo de confiança (vol/m³) = 107,2 <x> 119,8

b) Medidas gerais para as parcelas com idade medida de 4,5 anos:

- Diâmetro Médio (cm) = 12,6
- Altura Média (m) = 19,6
- Número médio de árvores/ha = 1350
- Volume médio com casca (m³) = 216,00
- Ocorrência de Falhas (%) = 15,6
- Limite de Erro (%) = 4,94
- Número de amostras = 5
- Intervalo de confiança (vol/m³) = 205,3 <x> 226,7

Com esses dados, observamos os resultados extrapolados pelo programa de computação Excel, no qual foram obtidos os volumes/ha/ano por regressão logarítmica de 2º grau, conforme Tabela 5 e Figura 10 abaixo, com coeficiente de correlação de 92,99 %:

Tabela 5: Dados obtidos por regressão logarítmica a partir das idades 3,5 e 4,5 anos.

M3/ha/ano	Idade (anos)	VOLUME/ha (m³)
32,43	1,5	48,64
32,43	2,5	81,07
32,43	3,5	113,50
48,00	4,5	216,00
57,91	5,5	318,50
64,77	6,5	421,00
69,80	7,5	523,50
73,65	8,5	626,00
51,43	Média	

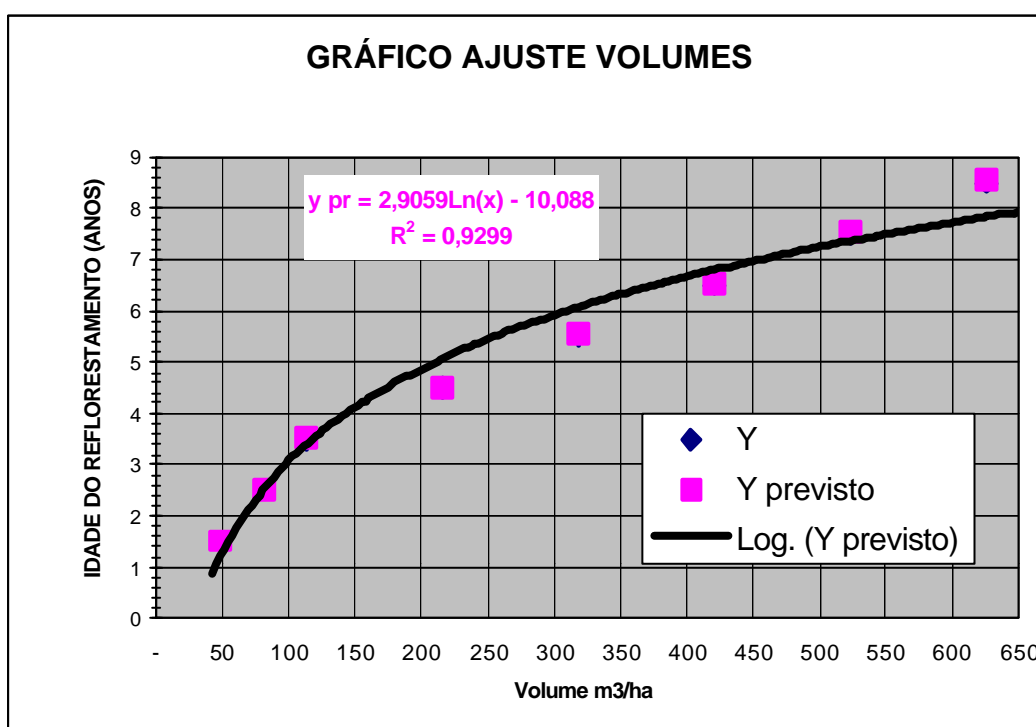


Figura 10: Gráfico Ajuste de Volumes por Regressão Logarítmica, obtido através do programa Excel a partir das idades de 3,5 e 4,5 anos.

Com os dados obtidos acima e utilizando as fórmulas propostas para o cálculo de incorporação de carbono a um reflorestamento de eucalipto, nesta região, observamos as seguintes quantidades de CO₂ incorporadas nas idades de 1 a 8 anos:

Pela fórmula (2, p.82) para cálculo de carbono na biomassa vegetal (seca), no tronco/ha/ano, obtemos para as idades de 1 a 3 anos:

$C_{TR1,2,3} = (V / F1) \times D \times F2$, e assim temos:

$C_{TR1,2,3} = (32,43 \text{ m}^3/\text{ha/ano}) \times 0,43 \text{ t/m}^3 \times 0,5$, logo:

$C_{TR1,2,3} = 6,97 \text{ t/ha/ano de CO}_2 \text{ incorporado no tronco.}$

Pela fórmula (3, p.83), para cálculo de carbono na parte aérea vegetal/ha/ano (seca), obtemos para as idades de 1 a 3 anos:

$C_{TC1,2,3} = C_{TR1,2,3} / (1 - pc)$, e assim temos:

$C_{TC1,2,3} = 6,97 \text{ t/ha/ano} / (1 - 0,13)$, logo:

$C_{TC1,2,3} = 8,01 \text{ t/ha/ano de CO}_2 \text{ incorporado na parte aérea.}$

Pela fórmula (4, p.83), para cálculo de carbono total na biomassa vegetal (seca)/ha/ano, parte aérea e raiz, obtemos para as idades de 1 a 3 anos:

$C_{TO1,2,3} = (C_{TR1,2,3} / (1 - pc)) / (1 - pr)$, e assim temos:

$C_{TO1,2,3} = (6,97 / (1 - 0,13)) / (1 - 0,22)$, logo:

$C_{TO1} = 10,27 \text{ t/ha de CO}_2 \text{ incorporado na idade de um ano;}$

$C_{TO2} = 20,54 \text{ t/ha de CO}_2 \text{ incorporado na idade de dois anos;}$

$C_{TO3} = 30,81 \text{ t/ha de CO}_2 \text{ incorporado na idade de três anos.}$

Pela fórmula (2, p.82), para cálculo de carbono na biomassa vegetal (seca), no tronco/ha/ano, obtemos para a idade de 4 anos:

$C_{TR4} = (V / F1) \times D \times F2$, e assim temos:

$C_{TR4} = (48 \text{ m}^3/\text{ha/ano}) \times 0,43 \text{ t/m}^3 \times 0,5$, logo:

$C_{TR4} = 10,32 \text{ t/ha/ano de CO}_2 \text{ incorporado no tronco.}$

Pela fórmula (3, p.83), para cálculo de carbono na parte aérea vegetal/ha/ano (seca), obtemos para a idade de 4 anos:

$C_{TC4} = C_{TR4} / (1-pc)$, e assim temos:

$C_{TC4} = 10,32 \text{ t/ha/ano} / (1-0,13)$, logo:

$C_{TC4} = 11,86 \text{ t/ha/ano de CO}_2 \text{ incorporado na parte aérea.}$

Pela fórmula (4, p.83), para cálculo de carbono total na biomassa vegetal (seca)/ha/ano, parte aérea e raiz, obtemos para a idade de 4 anos:

$C_{TO4} = (C_{TR4} / (1-pc)) / (1-pr)$, e assim temos:

$C_{TO4} = (10,32 / (1 - 0,13)) / (1 - 0,22)$, logo:

$C_{TO4} = 15,20 \text{ t/ha/ano x 4 anos,}$

$C_{TO4} = 60,80 \text{ t/ha de CO}_2 \text{ incorporado na idade de quatro anos.}$

Pela fórmula (2, p.82), para cálculo de carbono na biomassa vegetal (seca), no tronco/ha/ano, obtemos para a idade de 5 anos:

$C_{TR5} = (V / F1) \times D \times F2$, e assim temos:

$C_{TR5} = (57,91 \text{ m}^3\text{/ha/ano}) \times 0,43 \text{ t/m}^3 \times 0,5$, logo:

$C_{TR5} = 12,45 \text{ t/ha/ano de CO}_2 \text{ incorporado no tronco.}$

Pela fórmula (3, p.83), para cálculo de carbono na parte aérea vegetal/ha/ano (seca), obtemos para a idade de 5 anos:

$C_{TC5} = C_{TR5} / (1-pc)$, e assim temos:

$C_{TC5} = 12,45 \text{ t/ha/ano} / (1-0,13)$, logo:

$C_{TC5} = 14,31 \text{ t/ha/ano de CO}_2 \text{ incorporado na parte aérea.}$

Pela fórmula (4, p.83), para cálculo de carbono total na biomassa vegetal (seca)/ha/ano, parte aérea e raiz, obtemos para a idade de 5 anos:

$C_{TO5} = (C_{TR5} / (1-pc)) / (1-pr)$, e assim temos:

$C_{TO5} = (12,45 / (1 - 0,13)) / (1 - 0,22)$, logo:

$C_{TO5} = 18,34 \text{ t/ha/ano} \times 5 \text{ anos}$,

$C_{TO5} = 91,70 \text{ t/ha de CO}_2 \text{ incorporado na idade de cinco anos}$.

Pela fórmula (2, p.82), para cálculo de carbono na biomassa vegetal (seca), no tronco/ha/ano, obtemos para a idade de 6 anos:

$C_{TR6} = (V / F1) \times D \times F2$, e assim temos:

$C_{TR6} = (64,77 \text{ m}^3/\text{ha/ano}) \times 0,43 \text{ t/m}^3 \times 0,5$, logo:

$C_{TR6} = 13,92 \text{ t/ha/ano de CO}_2 \text{ incorporado no tronco}$.

Pela fórmula (3, p.83), para cálculo de carbono na parte aérea vegetal/ha/ano (seca), obtemos para a idade de 6 anos:

$C_{TC6} = C_{TR6} / (1-pc)$, e assim temos:

$C_{TC6} = 13,92 \text{ t/ha/ano} / (1-0,13)$, logo:

$C_{TC6} = 16,00 \text{ t/ha/ano de CO}_2 \text{ incorporado na parte aérea}$.

Pela fórmula (4, p.83), para cálculo de carbono total na biomassa vegetal (seca)/ha/ano, parte aérea e raiz, obtemos para a idade de 6 anos:

$C_{TO6} = (C_{TR6} / (1-pc)) / (1-pr)$, e assim temos:

$C_{TO6} = (13,92 / (1 - 0,13)) / (1 - 0,22)$, logo:

$C_{TO6} = 20,51 \text{ t/ha/ano} \times 6 \text{ anos}$,

$C_{TO6} = 123,06 \text{ t/ha de CO}_2 \text{ incorporado na idade de seis anos}$.

Pela fórmula (2, p.82), para cálculo de carbono na biomassa vegetal (seca), no tronco/ha/ano, obtemos para a idade de 7 anos:

$C_{TR7} = (V / F1) \times D \times F2$, e assim temos:

$C_{TR7} = (69,80 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}) \times 0,43 \text{ t}/\text{m}^3 \times 0,5$, logo:

$C_{TR7} = 15,00 \text{ t}/\text{ha}/\text{ano}$ de CO_2 incorporado no tronco.

Pela fórmula (3, p.83), para cálculo de carbono na parte aérea vegetal/ha/ano (seca), obtemos para a idade de 7 anos:

$C_{TC7} = C_{TR7} / (1 - pc)$, e assim temos:

$C_{TC7} = 15,00 \text{ t}/\text{ha}/\text{ano} / (1 - 0,13)$, logo:

$C_{TC7} = 17,24 \text{ t}/\text{ha}/\text{ano}$ de CO_2 incorporado na parte aérea.

Pela fórmula (4, p.83), para cálculo de carbono total na biomassa vegetal (seca)/ha/ano, parte aérea e raiz, obtemos para a idade de 7 anos:

$C_{TO7} = (C_{TR7} / (1 - pc)) / (1 - pr)$, e assim temos:

$C_{TO7} = (15,00 / (1 - 0,13)) / (1 - 0,22)$, logo:

$C_{TO7} = 22,10 \text{ t}/\text{ha}/\text{ano} \times 7 \text{ anos}$,

$C_{TO7} = 154,70 \text{ t}/\text{ha}$ de CO_2 incorporado na idade de sete anos.

Pela fórmula (2, p.82), para cálculo de carbono na biomassa vegetal (seca), no tronco/ha/ano, obtemos para a idade de 8 anos:

$C_{TR8} = (V / F1) \times D \times F2$, e assim temos:

$C_{TR8} = (73,65 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}) \times 0,43 \text{ t}/\text{m}^3 \times 0,5$, logo:

$C_{TR8} = 15,83 \text{ t}/\text{ha}/\text{ano}$ de CO_2 incorporado no tronco.

Pela fórmula (3, p.83), para cálculo de carbono na parte aérea vegetal/ha/ano (seca), obtemos para a idade de 8 anos:

$C_{TC8} = C_{TR8} / (1 - pc)$, e assim temos:

$C_{TC8} = 15,83 \text{ t/ha/ano} / (1 - 0,13)$, logo:

$C_{TC8} = 18,19 \text{ t/ha/ano de CO}_2 \text{ incorporado na parte aérea.}$

Pela fórmula (4, p.83), para cálculo de carbono total na biomassa vegetal (seca)/ha/ano, parte aérea e raiz, obtemos para a idade de 8 anos:

$C_{TO8} = (C_{TR8} / (1 - pc)) / (1 - pr)$, e assim temos:

$C_{TO8} = (15,83 / (1 - 0,13)) / (1 - 0,22)$, logo:

$C_{TO8} = 23,32 \text{ t/ha/ano x 8 anos,}$

$C_{TO8} = 186,56 \text{ t/ha de CO}_2 \text{ incorporado na idade de oito anos.}$

6 MODELO PROPOSTO

Como apresentado no Capítulo 3, os reflorestamentos, além de serem utilizados para a geração de matéria-prima e energia, também servem para captação de CO₂, conforme mostrado no item 5.3. (p.84).

As considerações para a elaboração do modelo foram:

- Como num espaçamento de 2,5 m x 2,5 m temos 1600 árvores iniciais/ha, e para o experimento observamos um índice de falhas próximo de 10 % ao longo dos três primeiros anos e cerca de 16 % ao longo dos cinco outros anos, apresentando, então, cerca de 1440 árvores/ha até os três anos e cerca de 1344 árvores/ha nos outros cinco anos.

- Pelos resultados obtidos com os experimentos, chegou-se a conclusão que para captar uma tonelada de CO₂, de acordo com cada idade (de um a oito anos), para este espaçamento entre plantio de 2,5 m x 2,5 m, com *Eucalyptus grandis*, temos uma massa média anual de CO₂ capturado por árvore de:

C_{TO1} = 10,27 t/ha = 0,007131 t de CO₂/árvore incorporado na idade de um ano;

C_{TO2} = 20,54 t/ha = 0,014263 t de CO₂/árvore incorporado na idade de dois anos;

C_{TO3} = 30,81 t/ha = 0,021395 t de CO₂/árvore incorporado na idade de três anos;

C_{TO4} = 60,80 t/ha = 0,045238 t de CO₂/árvore incorporado na idade de quatro anos;

C_{TO5} = 91,70 t/ha = 0,068229 t de CO₂/árvore incorporado na idade de cinco anos;

C_{TO6} = 123,06 t/ha = 0,091562 t de CO₂/árvore incorporado na idade de seis anos;

C_{TO7} = 154,70 t/ha = 0,115104 t de CO₂/árvore incorporado na idade de sete anos;

C_{TO8} = 186,56 t/ha = 0,138809 t de CO₂/árvore incorporado na idade de oito anos.

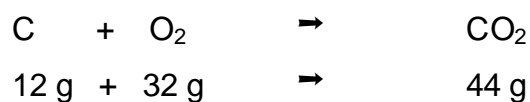
Sendo assim, o modelo proposto é desenvolvido baseado no tipo e volume de combustível utilizado/ano, que nos permite saber, através de suas características químicas, a quantidade de CO₂ liberado na combustão de 1 unidade de combustível, como vemos dois exemplos a seguir:

6.1 Carvão Mineral

Tabela 6 : Características do carvão mineral
(Região do Baixo Jacuí – RS)

Análise aproximada		
Poder calorífico superior	Kcal/kg	3.700
Percentual de cinzas	%	47
Mistura	%	15
Enxofre	%	1,3
Carbono fixo	%	29,4
Voláteis	%	23,6
Hardgrove Index		70
Análise		
Carbono	%	38,4
Hidrogênio	%	2,8
Nitrogênio	%	0,8
Oxigênio	%	10,2
Cloro	ppm	150

Formação de CO₂ pela queima de Carbono (C) presente no carvão:



Base de Cálculo: 1 tonelada de carvão CE – 3700

% de Carbono presente no carvão = 38,4

Carbono presente em 1 tonelada de carvão = 0,384 t

12 g de Carbono geram 44 g de CO₂, logo,

12 t de Carbono geram 44 t de CO₂, então temos:

Formação de CO₂ por tonelada de carvão CE-3700

CO₂ = 0,384 (tC/t carvão mineral) x 44 (tCO₂) / 12 (tC)

CO₂ = 1,408 t/t de carvão mineral

Se 1 t de carvão mineral gera 3.700.000 kcal, logo:

1 kcal de carvão mineral = 0,00000038 tCO₂ liberado.

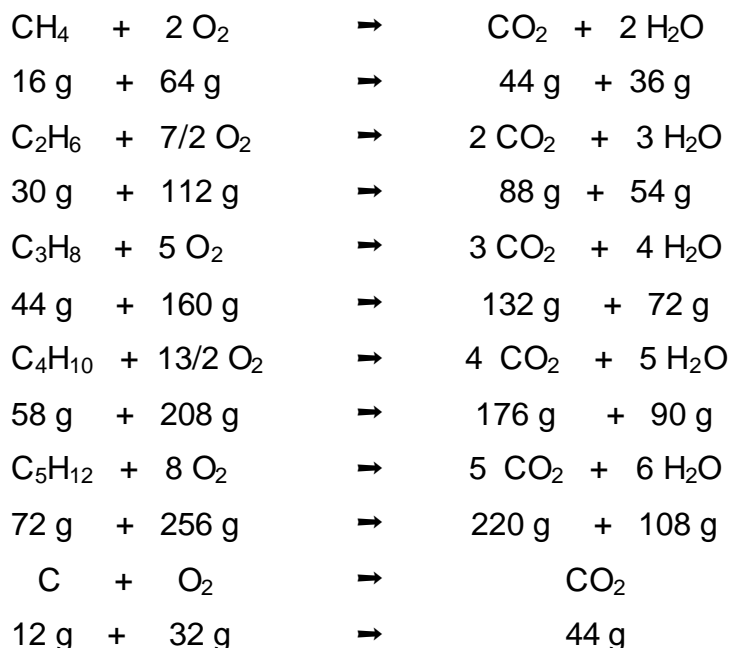
6.2 Gás Natural (origem Bolívia)

Tabela 7: Características do gás natural

Valores de Referência:			
Poder caloríf. Sup.(HHV) (kcal/m ³)	9400	37318	BTU/m ³
Temperatura (°C)	20		
Pressão absoluta (bar)	1,013		
Poder Calorífico Superior (kJ/Nm ³)	38.813		
Poder Calorífico Inferior (kJ/Nm ³)	35.020	33,2	Mbtu/m ³
Pressão de Fornecimento (Mpa)	3,09 a 3,6		
Composição Química			
Metano	91,8 % mol		
Etano	5,58 % mol		
Propano	0,97 % mol		
I-butano	0,02 % mol		
N-butano	0,02 % mol		
Pentano	0,10 % mol		
Nitrogênio	1,42 % mol		
Dióxido Carbono	0,08 % mol		

Fonte: Informado pela MSGAS pela DTC nº 53/99, 07Abr 99. Dados do gás boliviano.

Formação de CO₂ pela queima de Carbono (C) presente no gás:



Base de cálculo: 1 mol de gás natural

Formação de CO₂ por combustão de 1 mol de gás natural.

$$\text{CO}_2 = [44 \text{ (g CO}_2\text{)} / 16 \text{ (g CH}_4\text{)} \times 0,9180 + 88 \text{ (g CO}_2\text{)} / 30 \text{ (g C}_2\text{H}_6\text{)} \times 0,0558 + \\ 132 \text{ (g CO}_2\text{)} / 44 \text{ (g C}_3\text{H}_8\text{)} \times 0,0097 + 176 \text{ (g CO}_2\text{)} / 58 \text{ (g C}_4\text{H}_{10}\text{)} \times \\ 0,0004 + 220 \text{ (g CO}_2\text{)} / 72 \text{ (g C}_5\text{H}_{12}\text{)} \times 0,001 + 44 \text{ (g CO}_2\text{)} / 12 \text{ (g C)} \times \\ 0,0008]$$

$$\text{CO}_2 = 2,73 \text{ g CO}_2 / \text{mol de gás}$$

Base de cálculo: 1 Nm³ de gás natural

22, 414 litros (CNTTP) = 1 mol de gás natural

1 Nm³ gás natural = 44,64 moles

Formação de CO₂ por combustão de 1 Nm³ de gás natural

$$\text{CO}_2 = 2,73 \text{ (g CO}_2\text{/mol de gás)} \times 44,64 \text{ (moles de gás/Nm}^3\text{ de gás)}$$

$$\text{CO}_2 = 121, 87 \text{ g/Nm}^3, \text{ logo:}$$

$$\text{CO}_2 = 0,00012187 \text{ t/Nm}^3 \text{ de gás}$$

Se 1 Nm³ de gás boliviano gera 38.813 kJ, equivalente a 9.276,3 kcal, logo:

1 kcal de gás boliviano nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (0° C e 760 mm Hg) = 0,000000013 tCO₂ liberado.

Com isso, desenvolve-se o modelo, com a fórmula e uma tabela, onde temos a quantidade de CO₂ (em t) incorporada/árvore em determinada idade, ou a relação B/Vn, que nos dá a quantidade de árvores necessárias para captar o CO₂ proveniente da utilização de 1 kcal gerada por 1 unidade (t, Nm³ ou litros) de cada combustível:

NE = (A) quantidade de calorías utilizadas na produção (em kcal/ano) x ((B) quantidade de CO₂ despejada na atmosfera / kcal gerada por unidade de combustível/ano (número estabelecido por mol) / (Vn) índice de captação de CO₂ incorporado por árvore, apresentado na Tabela Modelo em t (obtido do experimento)), logo:

NE = A x (B / Vn) , onde:

NE = Número de árvores de eucalipto, com determinada idade, necessárias para absorver o CO₂ emitido pelo processo produtivo (árvores/kcal);

A = Quantidade de calorías utilizadas no processo (em kcal/ano);

B = Quantidade de CO₂ liberada pelo combustível em t (para cada kcal gerada pela utilização de uma unidade de combustível/ano);

Vn = índice de captação de CO₂/árvore (em t) obtido na Tabela Modelo na idade n;

(B/Vn) = número de árvores necessárias em determinada idade para captação de CO₂ de cada kcal gerada por uma unidade de combustível utilizado no processo, obtido na Tabela Modelo.

Sendo assim, temos:

Tabela 8: Tabela Modelo contendo a quantidade média de CO₂ incorporado por árvore em determinada idade e o número de árvores necessárias na captação de CO₂ proveniente da utilização de 1 kcal gerada por uma unidade de combustível (B/Vn).

Idade Do reflorest.	1 (ano)	2 (anos)	3 (anos)	4 (anos)	5 (anos)	6 (anos)	7 (anos)	8 (anos)
(Vn) t incorp. CO₂/árv.	0,007131	0,014263	0,021395	0,045238	0,068229	0,091562	0,115104	0,138809
(B/Vn) n° árv/ kcal de carvão mineral	5,329 x 10 ⁻⁵	2,6664 x 10 ⁻⁵	1,776 x 10 ⁻⁵	8,40 x 10 ⁻⁶	5,57 x 10 ⁻⁶	4,15 x 10 ⁻⁶	3,30 x 10 ⁻⁶	2,74 x 10 ⁻⁶
(B/Vn) n° árv/ kcal de gás boliviano	1,82 x 10 ⁻⁶	9,10 x 10 ⁻⁷	6,10 x 10 ⁻⁷	2,90 x 10 ⁻⁷	1,90 x 10 ⁻⁷	1,40 x 10 ⁻⁷	1,10 x 10 ⁻⁷	9,00 x 10 ⁻⁸

7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao ser ratificado o Protocolo de Kyoto, cedo ou tarde, as empresas lançarão uma corrida atrás de áreas disponíveis ao balanço de CO₂ proposto por este Protocolo. Como para efeitos de cálculo de balanço sugerido por este Protocolo, é provável que somente valerão as áreas implantadas depois de 2000. Se isto for confirmado, de 2000 ou de 1997 para cá (ano em que foi criado o Protocolo de Kyoto), a verdade é que o preço da quota por captação de tonelada de CO₂, comercializada, poderá subir significativamente, pois não existem tantos reflorestamentos deste ano para cá (e que estejam totalmente de acordo com as normas da sustentabilidade ambiental) quanto serão necessários. Portanto, as empresas que saírem na frente, nesta corrida, provavelmente terão garantido menores custos na obtenção de créditos deste, além de garantirem sua permanência no mercado (neste quesito). Ao restante das empresas, conseqüentemente pagarão mais caro pelo mesmo processo, além de sofrerem maiores pressões pelos órgãos ambientais competentes para o cumprimento das metas de redução de emissões.

Este trabalho procura reduzir este tempo de adaptação dos processos necessários ao programa de captação, bem como auxiliar na melhor maneira possível para que as empresas tenham o menor custo na implantação de um programa como este, além de dar uma visão mais clara de quanto seria necessário investir, seja num reflorestamento próprio, seja na compra de quotas de uma empresa reflorestadora, para garantir a qualidade ambiental, social e econômica das gerações futuras, além de ajudar na visão de uma possível redução de custos na compra ou obtenção de quotas com a substituição de seu atual combustível por outro que no final, teria um custo menor.

Como resultado pudemos observar que, para este espaçamento testado, temos uma possibilidade de captação média de 0,017351 t/árvore/ano, sendo esse o espaçamento mais utilizado pelas empresas reflorestadoras desta região.

A recomendação para trabalhos futuros é a de que sejam feitos novos experimentos para estas (3,5 e 4,5 anos) e as demais idades extrapoladas (de 1 a 8 anos) deste espaçamento; com outros espaçamentos de plantio utilizados para este gênero (eucalipto) comparando com o atual; que nesta região sejam realizados experimentos de copa, raiz e densidade (pois para este trabalho foram utilizados resultados de pesquisa de outros trabalhos); além de levantamentos da capacidade de absorção de CO₂ pelo solo (materiais em decomposição abaixo do solo e o próprio solo) e o litter (materiais em decomposição acima do solo) que seriam passíveis de entrada no cálculo de captação de CO₂; e finalmente, que sejam realizados outros experimentos deste porte, tanto para exóticas e até mesmo para nativas, nesta e em outras regiões do país, para que possamos ter uma precisão mais apurada do real balanço de CO₂ exercido por um ecossistema tão complexo, buscando sempre o desenvolvimento sustentável com a garantia da preservação ambiental.

7.1 Respostas as Perguntas Iniciais

- 1) Mas como determinar o tamanho de área necessária para manter o equilíbrio entre emissão e captação de CO₂?

Através do levantamento de capacidade de fixação de CO₂ pela espécie em determinada região, idade e espaçamento.

- 2) Como implantar essa cultura de eucalipto, na região do Vale do Itapocu, sem incorrer em problemas legais e ambientais?

Observando e levando em consideração todos os Princípios e Critérios estabelecidos por órgãos governamentais e não governamentais, como o FSC, embasado por pesquisas científicas e que visa a sustentabilidade ambiental.

3) Como dimensionar a absorção de CO₂ x desenvolvimento do eucalipto?

Fazendo levantamentos de inventário florestal contínuos, para cada propriedade, além de determinar a densidade, porcentagem de copa e de raiz para cada idade e sítio, da rotação completa.

4) A partir do levantamento de campo é possível quantificar a captação de CO₂ por uma árvore da espécie *Eucalyptus grandis*?

Sim, é possível. Tendo dados como altura, diâmetro, peso verde e seco, volume de tronco (seco), idade, volume (seco) de copa e de raiz, fator de forma e densidade da espécie, seria possível saber a quantidade de CO₂ incorporado pela espécie.

5) As variáveis de levantamento de campo como espaçamento, idade, altura e diâmetro, são suficientes para determinar o volume de CO₂ captado por uma árvore?

Não. É necessário, fora estes, determinarmos o peso seco da madeira (densidade), que terá valores diferentes para cada sítio e idade.

BIBLIOGRAFIA

1. ANDRADE, Edmundo N. de. **Manual do Plantador de Eucaliptos**. São Paulo: s.n., 1911.
2. ANDRAE, Franz H.. **Ecologia Florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1978.
3. As Contas Nacionais e os Custos Ambientais da Atividade Econômica. **Revista Análise Econômica. Faculdade de Ciências Econômicas**. Porto Alegre: UFRGS, 1995.
4. BÖSWALD, Klaus; BRODMANN, Urs – **Reducing Greenhouse gas emissions: Anticipating Tomorrow's Drivers, Opportunities and Financial Solutions** – Suíça: Discussion Paper, 2001.
5. BRENA, Doádi A.. **Inventário Florestal** – Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul: s/n, 1991.
6. BURGER, Dietrich. **Ordenamento Florestal I** – A Produção Florestal: 4ª Edição. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1980.
7. CANÇADO, Patrícia. Em Defesa do Verde. E das Verdinhas. **Revista Forbes Brasil**, Rio de Janeiro, Ano 2, nº 20, p. 33-37, ago. 2001: Editora JB S.A., Brasil.
8. CARVALHO, Benjamin de A.. **Ecologia e Poluição**. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1975.
9. CAVALCANTI, C.. **Desenvolvimento e Natureza. Estudos para uma Sociedade Sustentável**. São Paulo: Cortez Editora, 1995.

10. EMBRAPA. **Zoneamento Ecológico para Plantios Florestais no Estado de Santa Catarina**: Ministério da Agricultura. Curitiba: EMBRAPA, 1988.
11. Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma nova Oportunidade de Negócios para o Brasil: **Anais do Seminário**. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994.
12. FRANCO, Gustavo. Dióxido de Carbono e Eletricidade. **Revista Veja**, São Paulo: Edição 1701, p. 140: Editora Abril, 2001.
13. HUECK, K.. **As florestas da América do Sul – Ecologia, Composição e Importância Econômica**. Ed. Universidade de Brasília. São Paulo: Polígono, 1972.
14. LORA, Electo S.. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**: Brasil Catalogação na Fonte. Brasília: ANEEL, 2000.
15. MENDES, Jefferson B.. **SILVISYS** – Sistema de Inventário Florestal Computadorizado. Versão 1.5 – Guia do Usuário: Sylviconsult Engenharia LTDA. Curitiba, 1994.
16. MOREIRA, Adriana G.; SCHWARTZMAN, Stephan. **As Mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros**. Brasília: Instituto de Pesquisa, 2000.
17. NEWELL, Richard G.; STAVINS, Robert N.. **Climate Change and Forest Sinks: Factors Affecting the Costs of Carbon Sequestration**. Washington: Discussion Paper, 1999.
18. OLIVEIRA, Eliane F. P. de; NOBRE, Jader; PADUANO, Joigler. **Poluição Ambiental**: Monografia. Curitiba: UFPR, 1995.

19. OSANCHEZ, L.E.. **Simpósio de Avaliação de Impacto Ambiental: Situação Atual e Perspectivas**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1993.
20. Eucalipto. **Revista da Madeira**, Curitiba, p.04-114, set. 2001: Ed. Especial.
21. SCHUMAKER, Mauro V.; HOPPE, Juarez M.. **A Complexidade dos Ecossistemas**. Porto Alegre: Pallotti, 1997.
22. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina – 2000/2001**. Florianópolis: Instituto CEPA/SC, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura, 2001.
23. SILVA, José Afonso da. **Direito Ambiental Constitucional: 2ª Edição**, São Paulo: Malheiros, 1995.
24. SIMÕES, João W.; BRANDI, Renato M.; LEITE, Nelson B.; BALLONI, Edson A.. **Formação, Manejo e Exploração de Florestas de Rápido Crescimento**. Brasília: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1981.
25. KRAMER, Paul J.; KOSLOWSKI, T.. **Fisiologia das Árvores**. Lisboa: Edição da Fundação Calauste Gulbenkian, 1972.
26. II Congresso Florestal do Paraná. **Anais....** Curitiba: Instituto Florestal do Paraná, 1988.
27. PADILHA, José. Haia Não Foi Uma Derrota. **Revista Silvicultura**, São Paulo, nº 83, p. 14-15, ago./out. 2000.
28. <<http://www.fes.uwaterloo.ca/faculty/publications-f.html>> Acesso em: 19 mar. 2002.

29. <<http://www.mct.gov.br/clima/brasil/ppa.htm>> Acesso em: 01 ago. 2001.
30. <<http://www.creativenet.com.br/juglans>> Acesso em: 22 mai. 2002.
31. <<http://www.winrock.org>> Acesso em: 04 mar. 2002.
32. <<http://www.ecolnews.com.br/carbonoefeitoestufa.htm>> Acesso em: 01 ago. 2001.
33. <<http://www.unfccc.int/resource/convkp.html>> Acesso em: 04 mar. 2002.
34. <<http://www.iisd.ca/climate/cop6bis>> Acesso em: 04 mar. 2002.
35. <<http://www.fsc.org.br>> Acesso em: 24 mar. 2002.
36. <<http://www.pr.gov.br/iap>> Acesso em: 24 mar. 2002.